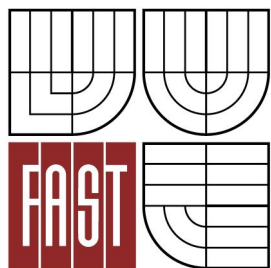




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

STAVEBNÍ PRŮZKUM A DIAGNOSTIKA OBJEKTU

SURVEY AND DIAGNOSTICS OF BUILDING CONSTRUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. BARBORA VÍTKOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.

BRNO 2014



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ**

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Barbora Vítková
Název	Stavební průzkum a diagnostika objektu
Vedoucí diplomové práce	Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013

.....
prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Adámek, J., Hobst, L., Cikrle, P., Schmid, P. Diagnostika stavebních konstrukcí. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2005.
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 EN 1996-1-1 Navrhování zděných konstrukcí.
ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí a další platné normy.
Podklady o objektu.

Zásady pro vypracování

Rešerše literatury.
Vizuální prohlídka konstrukce, popis konstrukce, zjištění a dokumentace vad a poruch.
Zpracování plánu diagnostického průzkumu.
Zjištění materiálových a rozměrových charakteristik konstrukce
Posouzení stavu konstrukce
Statické posouzení nosné konstrukce.
Návrh opatření na odstranění zjištěných závad a poruch.

Předepsané přílohy

.....
Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je diagnostický průzkum zděných stěn a spojovacího mostu ve Východním příkopu hradu Špilberk. Práce obsahuje teoretické poznatky o stavebně technickém průzkumu a diagnostických metodách a jejich vyhodnocení pro určení základních vlastností zděných konstrukcí. V praktické části je diagnostický průzkum zpracován. Jeho součástí je určení materiálových charakteristik konstrukce. V závěru je proveden návrh opatření na odstranění zjištěných poruch.

Klíčová slova

Stavebně technický průzkum, diagnostika, plenta, klenba, most, zdívo, zděné konstrukce, cihla, malta, porucha, oprava, pevnost v tlaku.

Abstract

The subject of this diploma thesis is the diagnostic survey of the masonry walls and the connecting bridge in the East Moat of Špilberk Castle. The thesis contains theoretical information about survey and diagnostics of building construction and then evaluation of diagnostic methods used for estimation of essential characteristics of masonry structures. In the practical part the diagnostic investigation of Špilberk Castle walls is processed. That includes determination of material characteristics of the studied structure. In the conclusion there is a suggestion of how to eliminate the structural defects found during the survey.

Keywords

construction and technological survey, diagnostics, arch, bridge, masonry construction, brick, mortar, structural defect, reconstruction, compressive strength.

...

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Barbora Vítková *Stavební průzkum a diagnostika objektu*. Brno, 2014. 84 s., 7 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Ondřej Anton, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12.1.2014

.....

podpis autora

Bc. Barbora Vítková

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Ondřeji Antonovi, Ph.D. za odbornou pomoc a cenné rady při vypracování této práce a dále pak Ing. Liborovi Švaříčkovi za odbornou konzultaci.

ÚVOD	- 10 -
A. TEORETICKÁ ČÁST.....	- 11 -
1. STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM.....	- 11 -
2. DIAGNOSTIKA ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ	- 13 -
2.1. ZDĚNÉ KONSTRUKCE.....	- 13 -
2.2. STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU ZDÍČÍCH PRVKŮ	- 17 -
2.3. STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU MALTY.....	- 21 -
2.4. HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ	- 24 -
3. HISTORIE ŠPILBERKU	- 26 -
B. PRAKTICKÁ ČÁST	- 28 -
I. DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM ZDIVA VE STĚNÁCH HRADNÍHO PŘÍKOPU A SPOJOVACÍHO MOSTU NA HRADE ŠPILBERK	- 28 -
4. POPIS ZKOUŠENÝCH KONSTRUKCÍ A JEJICH STAVU	- 28 -
5. TYPOLOGIE CIHEL A ZKOUŠKY CIHEL V PLENTÁCH	- 30 -
5.1. POPIS TYPŮ ZDÍČÍCH PRVKŮ	- 30 -
5.2. ZKOUŠKY ZDÍČÍCH PRVKŮ V PLENTÁCH.....	- 35 -
6. ZKOUŠKY MALTY V PLENTÁCH.....	- 40 -
6.1. ZKOUŠKY MALTY VE SPÁRÁCH ZDIVA PLENT VRTNOU METODOU.....	- 40 -
6.2. ZKOUŠKY MALTY SPÁROVACÍ NA TĚLESECH Z ODEBRANÝCH VZORKŮ	- 43 -
7. STANOVENÍ SKLADBY ZDIVA JÁDROVÝMI VÝVRTY	- 48 -
7.1. VÝVRT V1.....	- 48 -
7.2. VÝVRT V2.....	- 50 -
7.3. VÝVRT V3.....	- 52 -
7.4. VÝVRT V4.....	- 54 -
7.5. VÝVRT V5.....	- 56 -
7.6. VÝVRT V6.....	- 58 -
8. LABORATORNÍ ZKOUŠKY MATERIÁLŮ Z VÝVRTŮ.....	- 60 -
8.1. ZKOUŠKY CIHEL.....	- 60 -
8.2. ZKOUŠKY MALTY A POJIVA.....	- 65 -
9. CHARAKTERISTICKÁ A NÁVRHOVÁ PEVNOST V TLAKU ZDIVA KLENBY MOSTU - 68	-
10. SHRUTÍ.....	- 69 -
II. NÁVRH ZAJIŠTĚNÍ.....	- 71 -
11. PRŮZKUM STAVU ZKOUMANÝCH KONSTRUKCÍ	- 71 -
12. VYHODNOCENÍ STAVU ZKOUMANÝCH KONSTRUKCÍ.....	- 72 -
12.1. PORUCHY HRADEBNÍCH PLENT.....	- 72 -
12.2. PORUCHY MOSTU PŘES VÝCHODNÍ PŘÍKOP.....	- 73 -
12.3. VYHODNOCENÍ AKUSTICKÉHO MĚŘENÍ	- 74 -
13. OPRAVA ZDĚNÝCH PLENT	- 74 -
13.1. ZPŮSOBY OPRAVY.....	- 75 -
14. OPRAVA KAMENNÉ PLENTY	- 76 -
15. OPRAVA MOSTU.....	- 77 -
15.1. POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI KLENBY MOSTU.....	- 77 -

ZÁVĚR	- 82 -
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	- 84 -
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	- 86 -
SEZNAM PŘÍLOH	- 88 -
PŘÍLOHY	- 89 -
PŘÍLOHA 1 VYZNAČENÍ MÍST ODBĚRŮ A ZKOUŠEK.....	- 89 -
PŘÍLOHA 2 ZÁZNAMY Z AKUSTICKÉHO MĚŘENÍ.....	- 92 -

ÚVOD

Tato diplomová práce obsahuje teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zabývá obecně postupy při stavebně technických průzkumech, dále pak určováním základních vlastností zdiva pomocí nejčastěji užívaných diagnostických metod. Především je zde popsáno stanovení pevnosti v tlaku zdiva a výpočet její charakteristické a návrhové hodnoty podle normy ČSN ISO 13822.

Praktická část se zabývá jednak diagnostickým průzkumem zdiva ve stěnách hradního příkopu a spojovacího mostu na hradě Špilberk. Cílem tohoto průzkumu bylo určení materiálových a rozměrových charakteristik daných konstrukcí. Součástí praktické části práce je dále návrh opatření na odstranění zjištěných závad a poruch na těchto konstrukcích.

A. TEORETICKÁ ČÁST

1. STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM

Stavebně technický průzkum (dále jen STP) se provádí za účelem odzkoušet a zhodnotit stav stavebních konstrukcí především ze statického hlediska. Průzkum se může týkat jak celých konstrukcí, tak jejích částí, resp. staviv, ze kterých je konstrukce zhotovena. [1]

Nejčastější případy, kdy se STP vyžaduje, jsou následující:

- Nástavba nebo přístavba objektu;
- Rekonstrukce;
- Změna vlastníka objektu;
- Zjištění příčin, závažnosti poruch objektu;
- Nová výstavba v těsném sousedství. [2]

Jednotlivé STP se od sebe liší, vzhledem k tomu, že diagnostické práce se musí vždy přizpůsobit stavu a povaze zkoumaného objektu, druhu plánovaných stavebních úprav apod. Výsledkem je pak závěrečná zpráva, která může být zpracována ve třech stupních:

- předběžný STP pro potřeby zadávací studie rekonstrukce, modernizace apod.,
- podrobný STP pro zpracování statických výpočtů a projektové dokumentace,
- doplňující a speciální STP pro potřeby doplnění podrobného STP a řešení změn z úprav při realizace stavebních prací.

Tato zpráva by měla popsat a zhodnotit stav konstrukce.

Přesné postupy pro provádění STP uvádí norma ČSN ISO 13 822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí, platná od srpna 2005, která nahrazuje ČSN 730038. [1]

Obecně postup hodnocení obsahuje následující kroky, které umožňují provádět hodnocení s ohledem na současný stav konstrukce. Postup přitom závisí na účelu hodnocení a na specifických okolnostech, např. na dostupnosti projektové dokumentace, na zjištěných škodách, na využívání konstrukce.

Postup hodnocení:

- a) Stanovení účelu hodnocení.

b) Scénáře.

c) Předběžné hodnocení:

- 1) studium dokumentace a dalších údajů;
- 2) předběžná prohlídka;
- 3) předběžné ověření;
- 4) rozhodnutí o okamžitých opatřeních;
- 5) doporučení pro podrobné hodnocení.

d) Podrobné hodnocení:

- 1) podrobné vyhledání a prověření dokumentace;
- 2) podrobná prohlídka a zkoušky materiálů;
- 3) stanovení zatížení;
- 4) stanovení vlastností konstrukce;
- 5) analýza konstrukce;
- 6) ověření.

e) Výsledky hodnocení:

- 1) zpráva;
- 2) koncepční návrh konstrukčních opatření;
- 3) řízení rizik.

f) V případě potřeby se postup opakuje.

Tento postup je možné použít jak pro hodnocení jedné určité konstrukce, tak pro hodnocení skupiny konstrukcí. [3]

Při zpracování STP se využívají různé diagnostické metody, které lze dělit dle několika hledisek, především se dělí podle stupně poškození diagnostikované konstrukce. Dělení je potom následující:

- nedestruktivní metody (např. tvrdoměrné, elektromagnetické a radiační metody),
- semidestruktivní metody (např. jádrové vývrty, odtrhové zkoušky, vrtací zkouška),
- destruktivní metody (např. zkouška tahem, zkouška ohybem, zkouška tvrdosti).

[1]

Dalšími hledisky pro dělení jsou místo zkoušení (zkoušky laboratorní a zkoušky in situ) a hledisko zaměření zkoušky (chemické analýzy, zkoušky fyzikálně mechanických parametrů, statické zkoušky, dynamické zkoušky). [2]

V případě této diplomové práce budou níže popsány ty diagnostické metody, které byly konkrétně použity při diagnostickém průzkumu zdiva ve stěnách hradního příkopu a spojovacího mostu na hradě Špilberku.

2. DIAGNOSTIKA ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

2.1. ZDĚNÉ KONSTRUKCE

2.1.1. Cihlářské výrobky

Cihlářská výroba se řadí do hrubé keramické výroby. Cihlářské výrobky vznikají formováním přírodních surovin, hlín na bázi jílových minerálů (především illit, montmorillonit a kaolinit) a nejílovitých složek (křemen, méně pak kalcit, slída, chlorit). Vznikají výpalem výše zmíněných surovin při teplotách 900 až 1100°C. Výrobky se vyznačují pórovitostí, barevným (nejčastěji červeným) střepek. Většinou se jedná o prvky neglazované, plné, nebo vylehčené otvory, dutinami či zvýšenou pórovitostí. [4]

Vlastnosti cihel, mechanické i fyzikální, jsou ovlivněny kvalitou výchozí suroviny, způsobem jejího zpracování a způsobem a teplotou výpalu. Teplota výpalu ovlivňuje jak pevnost výsledného produktu, tak i jeho barvu. Pevnost v tlaku se pohybuje v širokém rozmezí od cca 5 MPa do cca 60 MPa a je hlavním kritériem pro rozdělení cihel do skupin (tříd). Dalším kritériem je objemová hmotnost a s ní související pórovitost, resp. nasákavost. Pórovitost a velikost pórů potom ovlivňuje další důležitou vlastnost – mrazuvzdornost, která se hodnotí na základě počtu zmrazovacích cyklů. Velmi užitečnou vlastností jsou i rozměry jednotlivých cihel. Rozměry kusového staviva jsou významné, neboť v průběhu staletí se formát i rozměry cihel mnohokrát měnily. Tyto změny jsou tudíž odrazem historických a krajových zvyklostí a podmínek, což bylo patrné i při diagnostickém průzkumu, kterým se zabývá praktická část této práce. Široký tvarový a rozměrový rozsah cihel tedy způsobuje problémy hlavně při opravách a rekonstrukcích historických staveb. Dnes se plné pálené cihly dodávají ve třech různých formátech – velký (290/140/65 mm), malý (250/120/65 mm) a metrický formát (240/115/75 mm). [5]

Norma ČSN 72 2600 Cihlářské výrobky. Společná ustanovení popisuje třídění cihlářských výrobků, jejich vlastnosti a zkoušení.

Třídění podle této normy je následující:

- výrobky pro svislé konstrukce,
- výrobky pro vodorovné konstrukce,
- výrobky pro pálenou krytinu,
- výrobky pro zvláštní účely. [4]

Eurokód 6 pro potřeby navrhování nosného zdiva klasifikuje zdící prvky dvěma způsoby, a to podle úrovně kontroly výroby a podle způsobu a relativního objemu děrování.

Podle úrovně kontroly se zdící prvky řadí buď do kategorie I nebo kategorie II. Jestliže výsledky výrobcem organizované kontroly výroby prokážou, že průměrná pevnost v tlaku v dodávce nedosáhne předepsané pevnosti v tlaku s pravděpodobností nejvýše 5 %, zdící prvky spadají do kategorie I. Prvky, u kterých hodnota uvedené pravděpodobnosti překročí 5 %, patří do kategorie II.

Podle způsobu a poměrného objemu děrování se zdící prvky dělí do skupin 1, 2, 3 a 4. Základním třídícím znakem je přitom objem všech otvorů v % objemu zdícího prvku. [6]

Poškození cihel může být způsobeno mrazem, krystalizací solí a působením vody, především vzlínající. Díky vzlínající vodě dochází ve sklovité matici cihel k hydrolyze a v důsledku toho cihly pozvolna ztrácejí pevnost. [5]

2.1.2. Malty

Malta se ve stavebnictví používá především ke spojování stavebních prvků a dílců (cihla, kámen), pro vyrovnání styčných spár a k úpravě povrchu stavebních konstrukcí (omítky).

Malty jsou směsi, které se skládají z anorganických pojiv, plniv a přísad rozmísené vodou na požadovanou konzistenci. Nejčastější pojivo v českých zemích je vápenný hydrát, od zavedení výroby cementu kombinovaný právě s cementem.

Plniva do malt jsou většinou přírodní písky a drtě (přírodní kamenivo) a umělé kamenivo získané drcením nebo granulací produktů jako škvára, struska, popílky, cihly apod. Obsah a typ pojiva a plniv ovlivňují vlastnosti syrové i zatvrdlé malty.

Podle použitého pojiva se malty dělí na:

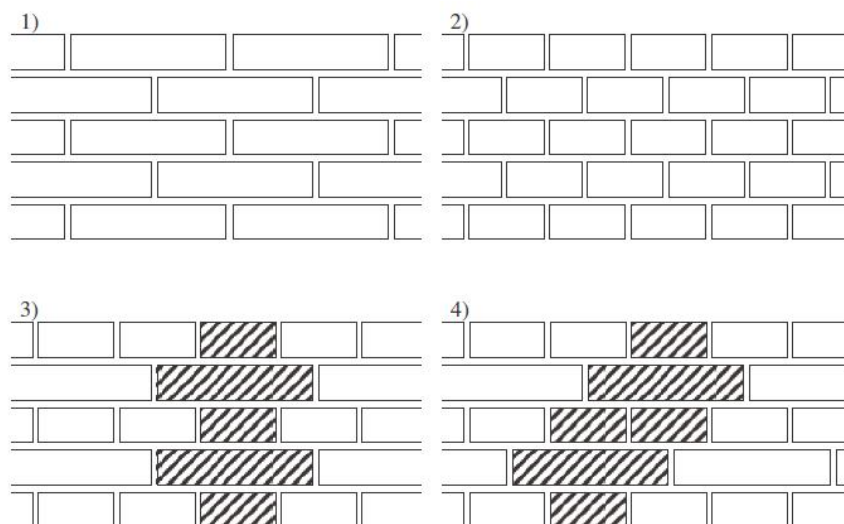
- hlínové,
- sádrové,
- vápenné,
- cementové,
- nastavované (vápno-hlínové, vápno-sádrové, vápno-cementové),
- speciální (odsolovací apod.).

Historicky nejstarší jsou malty hlínové, po té následovaly malty sádrové a nakonec malty vápenné. [5]

Eurokód 6 pro potřeby navrhování zděných prvků dělí malty pro zdění podle složení na malty obyčejné, malty pro tenké spáry a lehké malty. Další kritériem pro dělení je úroveň spolehlivosti dodržení požadované pevnosti v tlaku a podle něj mohou být malty návrhové a malty předpisové. Malty návrhové jsou vyráběny průmyslově a dodávány na stavbu už namíchané s označením pevnosti v tlaku. Předpisové malty se vyrábějí až na stavbě podle předepsaného složení uvedeného v poměru objemových dílů cementu, vápna a písku. [6]

2.1.3. Konstrukční uspořádání zděných konstrukcí

Kladením cihel na maltu vzniká vazba zdiva, která má za cíl, aby styčné spáry ve dvou sousedních vodorovných řadách cihel nebyly průběžné. Nejpoužívanější vazby zdiva jsou uvedeny na obr. 1



Obr. 1 Základní vazby cihelného zdiva. 1) běhounová, 2) vazáková, 3) polokřížová, 4) křížová [1]

Konstrukční prvky, které se vyzdívaly ze zdiva, jsou následující:

- zděné stěny,
- sloupy a pilíře,
- opěrné zdi,
- základy,
- ostatní části stavebních objektů. [1]

Zdivo je značně různorodý stavební materiál s rozdílnými užitnými vlastnostmi díky velkému množství druhů a tvarů zdících prvků a má skoro univerzální použití. Typické pro zdivo je odolnost proti atmosférickým vlivům a požáru, poměrně dobré tepelné i zvukově izolační schopnosti a velmi dobrá tvarovatelnost při použití tradičních starých technik. Zdivo se dále vyznačuje dobrou pevností v tlaku, avšak malou odolností v tahu. Ovšem všechny tyto vlastnosti záleží na typu zdiva a jejich hodnoty mohou být značně proměnné.

Při navrhování zděných konstrukcí je nejdůležitější sledovanou vlastností zdiva pevnost v tlaku, kterou má zdivo nejvyšší ve směru kolmém k ložným spárám. [6]

2.1.4. Posuzování starších zděných konstrukcí

Vzhledem ke značně kompozitní povaze cihelného zdiva jeho posuzování přináší určitá pozitiva i negativa. Nejvýznamnější problémy zděných konstrukcí mohou být následující:

- nedostatečná prostorová tuhost zdiva – ve vodorovném směru není zdivo zajištěné buď vůbec, nebo pouze pomocí železných kovaných táhel;
- stavební zásahy v minulosti – zásadní přestavování některých konstrukcí, zeslabování průřezů nebo odstraňování částí nosného zdiva;
- složení zdiva – u masivního zdiva je dokonalá vazba pouze v povrchové vrstvě, uvnitř se pak nachází směs kamene prolitá maltou, případně velké dutiny až kaverny, další problémy způsobuje také smíšené zdivo (kámen, cihly);
- neprovázanost zdiva – vizuálně kompaktní zdivo je složeno z více navzájem neprovázaných vrstev;
- změny v užívání a změny v zatížení konstrukce;
- trvanlivost zdiva – ovlivněná vlivem střídavého zmrazování a rozmrazování, dále přítomností solí kyselin, které rozrušují zdivo krystalizačními tlaky;
- vlhkost zdiva – zhoršuje provozně funkční vlastnosti konstrukce, snižuje únosnost a urychluje degradační procesy;
- poruchy, zejména trhliny – jejich rozvoj souvisí s většinou předcházejících problémů. [1]

2.2. STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU ZDÍČÍCH PRVKŮ

Základní vlastnosti zdíčních prvků, jako jsou např. rozměry, tvar, objemová hmotnost a pevnost v tlaku se určují buď na vzorcích odebraných z vyšetřované konstrukce dle příslušné normy, nebo vhodnou nedestruktivní metodou po odkrytí povrchu zdiva. [1]

2.2.1. *Pevnost v tlaku na vzorcích odebraných z konstrukce*

Podle ČSN EN 772-1 se pevnost v tlaku zdíčních prvků určuje jako průměrná pevnost v tlaku stanoveného počtu vzorků celých zdíčních prvků. [1]

Odebírání zkušebních vzorků se provádí podle příslušné části EN 771, přičemž nejmenší počet je šest, ale ve specifikaci výrobku je možné požadovat zvýšení minimálního počtu vzorků podle velikosti konstrukce. Pokud mají zdíčí prvky větší rozměry, vyřezávají se reprezentativní části, např. krychle, z různých míst prvku. [7]

Pevnost v tlaku zdíčních prvků, která se uvažuje při návrhu, je normalizovaná pevnost v tlaku f_b . Tato pevnost se určí přepočtem pevnosti zdíčních prvků na pevnost

ve stavu přirozené vlhkosti (6 ± 2)%, pokud v tomto stavu nebyla již stanovena, následně se vynásobí součinitelem vlivu výšky a šířky zdících prvků δ dle tabulky.

Tab. 1 Součinitel tvaru δ vyjadřující vliv rozměrů zkušební vzorku změřených po úpravě povrchu vzorku

Výška (mm)	Šířka (mm)				
	50	100	150	200	≥ 250
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
POZNÁMKA: Je přípustné stanovit mezilehlé hodnoty δ lineární interpolací					

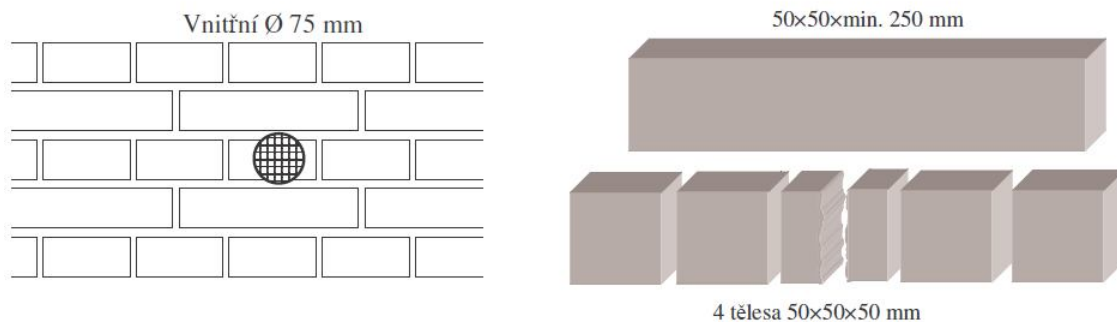
Podstatou zkoušky je uložení zkušebních vzorků, připravených potřebným způsobem, dostředně na tlačnou desku zkušební lisu a následné působení rovnoměrně rozděleného zatížení na vzorek až do jeho porušení. Rovnoměrně rozdělené zatížení se zvyšuje plynule. [7]

2.2.2. Pevnost v tlaku na tělesech vyrobených z jádrových vývrtů

Pokud je obtížné odebrat z konstrukce celé vzorky zdících prvků, je možné použít pro odběr vzorků jádrové vrtání. [1]

Vývrty jsou válcová zkušební tělesa, která lze získat z konstrukce díky dobře chlazeným jádrovým vrtákům. Takto získané vývrty jsou dále vyšetřeny, upraveny a zkoušeny v tlaku. [8]

V praxi se používají vývrty o průměru 50 mm, z kterých se vyřežou válcové tělesa. Směr jejich zatěžování v lisu ale není totožný se směrem zatížení v konstrukci, protože vývrty jsou většinou vodorovné. Ústavu stavebního zkušebnictví VUT se osvědčilo provádět jádrové vývrty o průměru 75 mm do vazáku na celou délku cihly – viz obr. 2



Obr. 2 Odběr vzorků zdiva o průměru 75 mm jádrovým vrtáním a zkušební tělesa vyrobená z vývrtů. [1]

Z tohoto vývrtu je možné vyrobit zkušební tělesa s příčným rozměrem $d = 50$ mm a lze je využít jak pro stanovení pevnosti v tlaku, tak i pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu. Rozměry reprezentativního tělesa, ve tvaru hranolu, jsou optimálně 50x50x250 mm (případně až 290 mm). Pro stanovení pevnosti v tlaku jsou potřeba 4 krychle o rozměrech 50x50x50, které lze získat po zlomení reprezentativního tělesa při ohybové zkoušce – viz obr. 2. Vzhledem k většímu počtu zkušebních krychlí, je možné získat pevnost z různých částí zdi i v různém vlhkostním stavu. [1]

2.2.3. Pevnost v tlaku zjištěná nedestruktivně – Schmidt LB

Zjišťování pevnosti v tlaku pomocí odrazového tvrdoměru Schmidt se řadí mezi tvrdoměrné metody. Tyto metody, které zkouší zdící prvky, jsou modifikací metod používaných pro beton. Pro zkoušení cihelných zdících prvků byl vyvinut typ odrazového tvrdoměru Schmidt LB – viz obr. 3. [9]



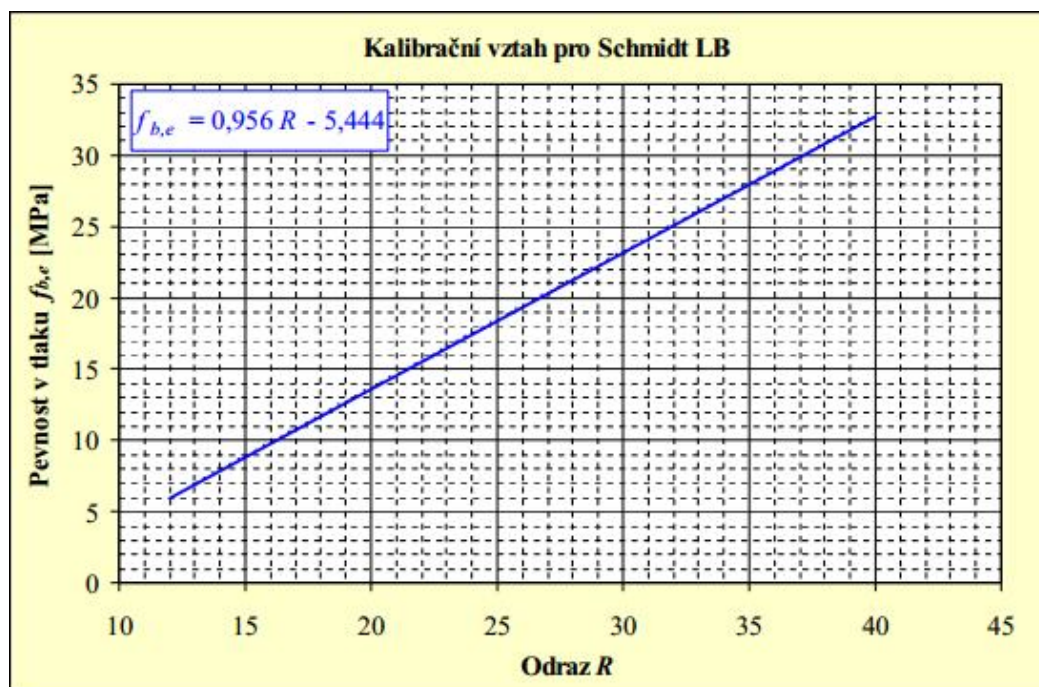
Obr. 3 Tvrdoměr Schmidt LB – pro zkoušení cihelného zdiva. [1]

Rozdíl oproti tvrdoměru Schmidt L, který se využívá ke zkoušení betonu, je ve výrazně menším poloměru kulové plochy razníku.

Pro nové i staré cihly bylo vytvořeno několik kalibračních vztahů, protože v normách jsou uvedeny pouze kalibrační vztahy pro beton. Pracoviště, která se touto problematikou zabývala, jsou např. VAAZ Brno, FAST VUT v Brně a PÚDIS Praha.

Provádění a vyhodnocování zkoušek pevnosti v tlaku cihel tvrdoměrem Schmidt LB se v podstatě neliší od metodiky pro Schmidt L pro beton, rozdílné jsou pouze kalibrační vztahy. Povrch cihly se nejdříve obrousí, dále se provede minimálně 5, nejlépe 10 měření odrazu. Pokud se hodnota jednotlivých platných měření liší od aritmetického průměru všech měření na jednom místě více než o $\pm 20\%$, vyloučí se a ze zbývajících platných měření, kterých musí být alespoň 5, se vypočítá nový aritmetický průměr odrazu R . Tato hodnota se následně použije pro stanovení pevnosti v tlaku $f_{b,e}$ dle kalibračního vztahu – viz obr. 4.

Vztah mezi pevností cihel v tlaku a tvrdostí cihel se může lišit podle lokality a také podle vlastností povrchu zdiva, proto se obecný kalibrační vztah mezi těmito dvěma veličinami vždy upřesňuje pomocí součinitele upřesnění α . Upřesnění se provádí na celých zdících prvcích vyjmutých z konstrukce. Zkušební vzorky se před stanovením pevnosti v tlaku upnou do lisu a vyzkouší se tvrdoměrnou metodou. Zkoušení tvrdoměrnou metodou se většinou provádí pouze na cihlách plných pálených, u tvarovek je výsledek zkreslený díky přítomnosti otvorů uvnitř prvku. [1] [9]



Obr. 4 Kalibrační vztah pro stanovení pevnosti v tlaku starých plných pálených cihel z hodnoty odrazu měřené tvrdoměrem Schmidt LB [9]

2.3. STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU MALTY

2.3.1. *Metody pro zjišťování pevnosti v tlaku malty ve spárách*

Metody pro stanovení pevnosti v tlaku malty ve spárách jsou následující:

- nedestruktivními tvrdoměrnými zkouškami na základě vhodných kalibračních vztahů, popř. podle hloubky vrypu odhadem;
- na základě obsahu pojiva, který byl stanoven chemickým rozbořem;
- metodami lokálního porušení, např. upravenou příklepovou vrtačkou na základě kalibračních vztahů.

Nejrozšířenější v praxi je semidestruktivní metoda upravené vrtačky. [1]

Vzhledem k tomu, že byla tato metoda použita i v případě diagnostiky zdiva hradního příkopu a spojovacího mostu na Špilberku bude dále podrobně rozebrána.

2.3.2. *Stanovení pevnosti v tlaku malty ve spárách – vrtná metoda „Kučerovy vrtačky“*

V pražském Technickém a zkušebním ústavu stavebním (TZÚS) byla upravena ruční vrtačka, odborné veřejnosti známá jako „Kučerova vrtačka“. Metoda vychází ze vzájemného statisticky významného vztahu mezi pevností malty ve spárách a odporem malty proti vnikání vrtáku při příklepovém vrtání vrtačkou s danými parametry. Rozdíl mezi běžnou a upravenou ruční vrtačkou je ten, že u upravené je navíc příklep, počítadlo otáček a tlačná pružina v opěrce o předepsané tuhosti, díky níž je zajištěn předepsaný příklep. Míra odporu je dána hloubkou vrtu vrtákem do zdiva o průměru 8 mm.

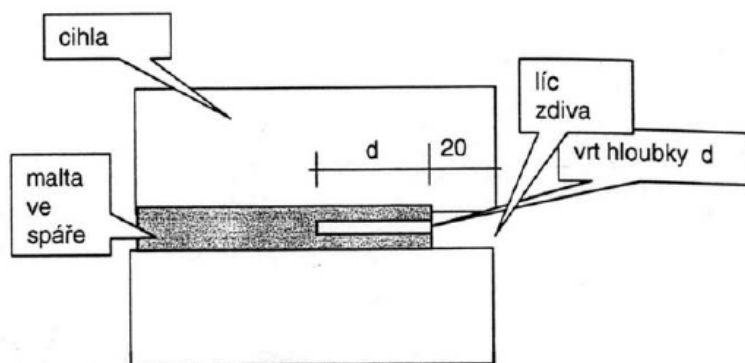
Vzhledem k tomu, že vlastní zkoušení bylo díky charakteru přístroje značně namáhavé, vyvinul TZÚS Praha nový typ elektrické vrtačky s označením PZZ 01 - viz obr. 5. [1] [9]



Obr. 5 Upravené vrtačky pro zkoušení pevnosti malty ve spárách – ruční a elektrická [1]

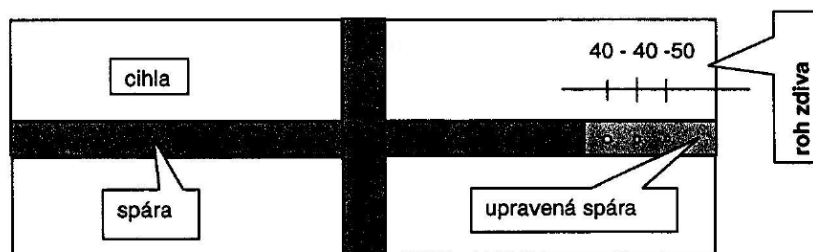
Zkušební postup pro oba typy vrtaček je v podstatě stejný, rozdíl je pouze v kalibračních vztazích. Zkušební místo se zvolí na tlačných prvcích a následně se upraví.

V případě, že je zdivo omítnuto musí se odstranit omítka na ploše cca 200x150 mm, aby byly ložné spáry přibližně v podélné ose upravené plochy. V jedné ložné spáře se malta vyseká, resp. vyškrábe vhodným nástrojem zhruba 20 mm za líc zdiva (kvůli odstranění omítky a zkarbonatované vrstvy) – viz obr. 6.



Obr. 6 Umístění vrtu ve spáře zdiva řez zdivem [1]

V upravené ložné spáře se provedou tři vrty navzájem vzdálené cca 40 mm a od případné hrany zdiva minimálně 50 mm – viz obr. 7.



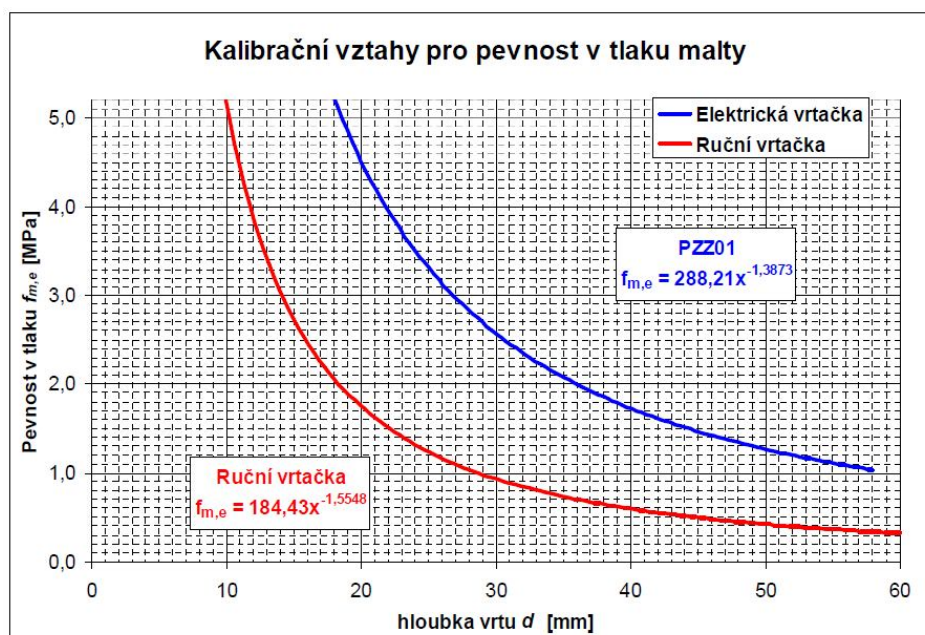
Obr. 7 Rozmístění vrtů ve spáře a vzdálenosti od okraje [1]

Pokud jsou použity obecné kalibrační vztahy, provedou se vrty při nastavení stupnice na 25 otáček u ruční vrtačky a na stupeň 1 u vrtačky PZZ 01. Při použití specifických kalibračních vztahů se nastavení provede na stupeň, použitý pro kalibraci pro daný materiál (lze zkoušet i cihly).

Pomocí hloubkoměru se změří hloubka vrtu. Platné měření jsou ty, u nichž se hloubka vrtu d neliší od průměrné hloubky d_m ze všech tří vrtů o víc jak 30%. V případě, že tomuto kritériu nevyhovují dva z vrtů, zkušební místo se neuvažuje vůbec. V případě že nevyhovuje pouze jeden vrt, vyloučí se tento vrt z měření a nahradí

se novým. Pokud ani nahrazení jednoho vrtu nesplní kritérium, toto zkušební místo se neuvažuje.

Kalibrační vztahy vytváří výrobce obou vrtaček a to pro různé vstupní podmínky jako je např. jiný typ přítlaču, jiný průměr vrtáku a jiný způsob vyvození otáček. Vzájemně tedy nejsou porovnatelné, protože respektují různost obou vrtaček. [1]
Kalibrační vztahy pro oba typy vrtaček jsou uvedeny na obr. 8.



Obr. 8 Kalibrační vztah pro pevnost v tlaku malty ve spáře zdiva z hloubky vrtu pro ruční a elektrickou vrtačku [9]

Aritmetický průměr hloubky vrtu d_m , vypočítaný ze tří platných měření na jednom zkušebním místě, se zaokrouhlí na 1 mm. Dále se v závislosti na průměrné hloubce vrtu d_m zjištěné z obecného kalibračního vztahu pro daný typ přístroje stanoví informativní hodnoty pevnosti malty f_{m0} .

Pevnost získaná zkouškou jednoho zkušebního místa se považuje za ekvivalentní hodnotě pevnosti malty získané zkoušením jednoho zkušebního tělesa. Výsledky všech zkoušek na konstrukci slouží k určení výběrového průměru pevnosti malty f_m . [1]

2.3.3. Stanovení pevnosti v tlaku malty na zkušebních tělesech

Zkušební tělesa pro stanovení pevnosti malty v tlaku by měly být trámečky 160x40x40 mm. Zkouší se na dvou částech trámečku, které vzniknou po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu. V případě, že se zkouška v tahu za ohybu nepožaduje, mohou

být části pro stanovení pevnosti v tlaku připraveny z trámečků jakkoliv jinak, ale tak, aby části nebyly poškozeny.

Dále se vyvozuje zatížení a to bez rázů rovnoměrně, tak aby došlo k porušení v intervalu 30 – 90 s. Pevnost se vypočítá jako podíl maximálního vynaloženého zatížení a průřezové plochy zkušebního tělesa. [10]

2.4. HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

Zděnou konstrukci se podle přílohy normy ČSN ISO 13822 rozumí stavební konstrukce, která je vyzděná ze zdících prvků na maltu pro zdění. Při hodnocení existujících zděných konstrukcí se postupuje dle platných norem pro navrhování zděných konstrukcí a pro zatížení. [3]

2.4.1. Charakteristická pevnost zdiva v tlaku

Charakteristická pevnost zdiva v tlaku f_k se určí dle vztahu z pevnosti zdících prvků a malty

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta$$

Kde f_k je charakteristická pevnost zdiva v tlaku v N/mm^2 pro zdivo s vyplněnými ložnými spárami;

K konstanta závislá na druhu zdiva a skupině zdících prvků, zařazení zdících prvků do skupin závisí na geometrických charakteristikách těchto prvků;

f_b normalizovaná průměrná pevnost v tlaku zdících prvků v N/mm^2 ;

f_m průměrná pevnost malty v tlaku v N/mm^2 , uvažuje se nejvýše menší z hodnot $2f_b$ nebo 20 MPa. U zdiva s lehkou maltou a u zdiva s tenkými spárami se ověřuje, zda malta odpovídá minimální pevnostní třídě M5;

α exponent závislý na tloušťce ložných spár a druhu malty, $\alpha = 0,65$ pro nevyztužené zdivo s obyčejnou nebo lehkou maltou, $\alpha = 0,85$ pro nevyztužené zdivo s maltou pro tenké spáry;

β exponent závislý na druhu malty, $\beta = 0,25$ pro obyčejnou maltu, $\beta = 0$ pro lehkou maltu a maltu pro tenké spáry.

Stanovení pevnosti zdiva podle tohoto vztahu se ověřilo pro nejčastější uspořádání zdících prvků a to z plných cihel klasického formátu o průměrné pevnosti zdících prvků a obyčejné malty. Ve vazbě zdiva se předpokládá střídání běhounů

a vazáků, pro toto uspořádání odpovídá hodnota konstanty $K = 0,5$. Pro ostatní druhy zdiva se součinitel K (stanovený podle ČSN P ENV 1996 – 1 – 1) upravuje s ohledem na zkušební metodu a použitý korelační vztah. [3]

2.4.2. Návrhová pevnost zdiva v tlaku

Charakteristická pevnost zdiva se vypočítá na základě vlastností zdících prvků a vlastností použité malty. Ovšem při hodnocení zdiva je potřeba zohlednit i další vlastnosti, které mají vliv na únosnost celé konstrukce. Mezi tyto vlastnosti patří především:

- pravidelnost vazby zdiva;
- vyplnění spár maltou;
- zvýšená vlhkost zdiva
- svislé a šikmé trhliny ve zdivu.

Dále je potřeba zohlednit množství informací zjištěné průzkumem, což znamená, že záleží na zkušební metodě, počtu zkušebních míst, odstranění omítky apod. [1]

Návrhová pevnost zdiva v tlaku se spočítá jako podíl charakteristické pevnosti v tlaku f_k a dílčího součinitele zdiva γ_m . Součinitel zdiva γ_m se přitom určí následujícího vztahu:

$\gamma_m = \gamma_{m1} * \gamma_{m2} * \gamma_{m3} * \gamma_{m4}$, kde:

Kde γ_{m1} je základní hodnota dílčího součinitele spolehlivosti, která se pro zdivo z plných cihel uložených na obyčejnou maltu rovná 2,0. V ostatních případech je nutno součinitel stanovit rozbořem s ohledem na způsob zjištění pevnostních charakteristik;

γ_{m2} součinitel zahrnující vliv pravidelnosti vazby zdiva a vyplnění spár maltou: $0,85 \leq \gamma_{m2} \leq 1,2$; dolní mez intervalu platí pro zcela pravidelnou vazbu a dokonalé vyplnění spár;

γ_{m3} součinitel zahrnující vliv zvýšené vlhkosti, pro vlhkost zdiva v intervalu od 4 % do 20 % se součinitel určí interpolací mezi hodnotami $1,0 \leq \gamma_{m3} \leq 1,25$;

γ_{m4} součinitel zahrnující vliv svislých a šikmých trhlin ve zdivu v intervalu $1,0 \leq \gamma_{m4} \leq 1,4$, dolní mez platí pro neporušené zdivo bez trhlin. [3]

3. HISTORIE ŠPILBERKU

Hrad Špilberk (název nejčastěji vysvětlován z německého Spiel a Berg podle her, které se zde konaly) byl založen kolem poloviny 13. století. První písemné zmínky o hradu se datují k rokům 1277 – 1279, což spadá do období vlády českého krále a markraběte moravského Přemysla Otakara II. Hrad byl vybudován na pahorku vysokém 290 m n. m., který leží v historické části města Brna.

Z počátku byl Špilberk navštěvován českými panovníky zřídka, až od poloviny 14. století se stal trvalým sídlem moravských markrabat a toto období trvalo celkem šest desetiletí. Po té hrad ztrácí svou rezidenční funkci natrvalo. Do popředí se dostává vojenský význam, který hrál významnou roli jak za husitských válek, tak i v následujících bojích mezi českým králem Jiřím z Poděbrad a uherským králem Matyášem Korvínem. Na dvě desetiletí, přesně do roku 1490 se podařilo získat Špilberk právě Matyáši Korvínovi.

V období konce 15. století a víc než poloviny 16. století význam hradu značně poklesl. Špilberk byl několikrát zastavován a jeho dočasní držitelé se o údržbu příliš nestarali, tudíž hrad postupně chátral. Moravští stavové, kteří si uvědomovali význam Špilberku a nebyli spokojeni s jeho stavem, odkoupili roku 1560 hrad od tehdejšího krále Ferdinanda a vzápětí ho zase prodali přímo městu Brnu. Roku 1620 po porážce stavovského povstání, kterého se město účastnilo, byl ale Špilberk císařem Ferdinandem II. zkonfiskován a byl navrácen do zeměpanského majetku. V držení města tedy hrad zůstal pouhých 60 let.

V průběhu třicetileté války hrad znovu pouze chátral. Posádku tvořilo kolem 40 mužů a opevnění bylo polorozpadlé. Až díky ohrožení Švédy dochází v letech 1639 - 1645 k opravě opevnění hradu i města. Díky těmto opravám bylo tříměsíční dobývání švédskou přesilou neúspěšné.

Dalších víc než sto let byl Špilberk postupně přebudován na barokní pevnost, která byla nejmohutnější na celé Moravě. Hrad měl mohutné hradební zdi, bastiony, předsunuté opevnění, velkou zbrojnici a prachárnu. Roku 1742 byly v postranních příkopech přistavěny dvoupatrové kasematy, které měly sloužit jako bezpečný úkryt hradní posádky v případě obléhání a jako skladiště zbraní a střeliva. Další stavební úpravy proběhly v padesátých letech 18. století, kdy byly vybudovány přízemní kasárenské budovy spolu s obydlím velitele pevnosti a kaplankou.

S příchodem 19. století ovšem vojenský význam Špilberku zcela vymizel. Důležitou roli v tom hrál především rok 1809, kdy bylo město Brno spolu se špilberskou citadelou okupováno Napoleonovou armádou a ta při svém odchodu zničila některé důležité části pevnostního systému. Roku 1820 pak byla pevnost zrušena a Špilberk se stal velkou civilní věznicí.

Už dříve ovšem Špilberk sloužil jako vězení. Byli zde vězeni moravští předáci stavovského povstání po jejich porážce roku 1620. Poté sloužila špilberská vojenská pevnost zároveň jako vězeňská. Vězni byli prostí poddaní, vojáci i vysoce postavené osobnosti. Roku 1783 byla pak na Špilberku zřízena civilní věznice pro nejtěžší zločince, a to z rozhodnutí císaře Josefa II. Věznice byla zřízena jak ve starší dvoupatrové vězeňské budově z roku 1725, tak v kasematech, které byly k tomuto účelu přebudované na hromadné cely. V nadzemních prostorách Špilberku se pak od poloviny devadesátých let 18. století objevují i vězni, které lze označit za politické.

Vězení na Špilberku oficiálně zrušil císař František Josef I. v roce 1855 a hrad sloužil opět vojenským účelům, ale vězni se sem vrátili ještě dvakrát. Po vypuknutí první světové války zde byli věznění provinilí vojáci i odpůrci rakouského režimu. V době nacistické okupace sloužil hrad jako sběrný koncentrační tábor, bylo zde vězněno několik tisíc českých vlastenců.

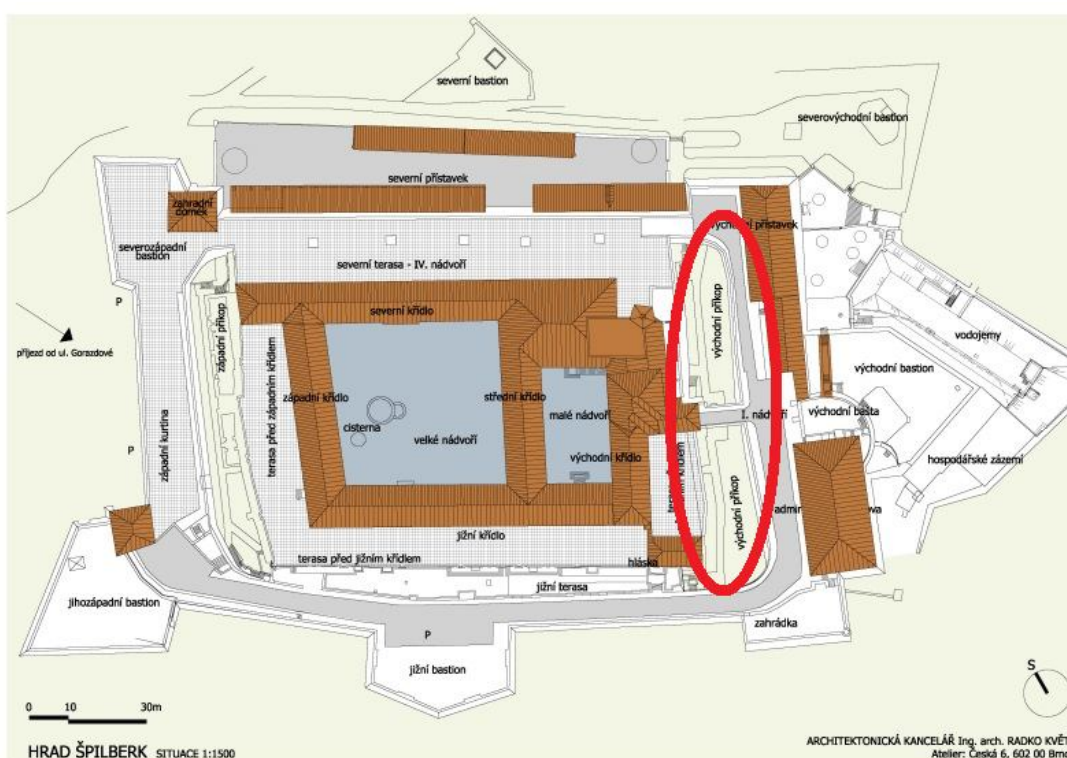
Vojenská éra Špilberku skončila definitivně roku 1959. Armáda opustila prostory hradu a od dalšího roku se Špilberk stal sídlem Muzea města Brna. Na hrad byly přestěhovány rozsáhlé sbírky muzea a bylo zde vytvořeno několik stálých expozic a výstav. V roce 1962 byl Špilberk prohlášen za národní kulturní památku. [11] [12]

B. PRAKTICKÁ ČÁST

I. DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM ZDIVA VE STĚNÁCH HRADNÍHO PŘÍKOPU A SPOJOVACÍHO MOSTU NA HRADĚ ŠPILBERK

4. POPIS ZKOUŠENÝCH KONSTRUKCÍ A JEJICH STAVU

Zkoušené konstrukce byly zděné plenty a cihelný most, které jsou umístěny ve Východním příkopu hradu Špilberk v oblasti vstupu do kasemat – viz obr. 9.



Obr. 9 Situace hradu Špilberk s vyznačeným umístěním zkoušených konstrukcí. [13]

Celková délka zděných plent je 209 m a jejich výška je v rozmezí 8 – 9 m. Jedná se o plenty řešené jako cihelné, resp. kamenné přízdívky o tloušťce 150 – 450 mm. Převládá použití cihelného zdiva – viz obr. 10. Na východní stěně příkopu je však použito zdivo smíšené (cihly jsou zde prokládány opracovanými i neopracovanými kameny), na jižní stěně příkopu je ve spodní části plenty použito kamenné zdivo na cementovou maltu (úprava z 1. poloviny 20. století) a v horní části této stěny se nachází zdivo smíšené – viz obr. 11.

U zděných plent dochází k degradaci a odtržení od hradeb. V některých částech nastává až destrukce samotné plenty, např. v horní části jižní stěny příkopu, kde se nachází krakorce, mezi kterými došlo právě ke značné destrukci plenty, a zdící prvky zde vypadávají – viz obr. 11. K poškození plent dochází vlivem zatékání a cyklických klimatických vlivů.



Obr. 10 Západní stěna příkopu s patrnými velkými plochami jednorázově rekonstruované plenty v různých obdobích.



Obr. 11 Jižní stěna příkopu s plentou v dolní části vyzděnou z kamenného zdiva a v horní části ze zdiva smíšeného. Mezi krakorci je viditelná destrukce částí plenty.

Zkoušky se dále týkaly klenby mostu přes Východní příkop, který je proveden jako cihelný klenutý dvouobloukový. Půdorys mostu má rozměry 11x6 m, jeho výška je 9 m a nosné rozpětí je cca 6 m a 2,8 m. Ze spodní části je zdivo klenby poškozené. Klenba sice byla v minulosti opravována, ale použitím nevhodného způsobu opravy (plombování cihelnými pásky) došlo k opětovnému odpadávání částí cihel. V době průzkumu byla konstrukce zakryta výdřevou – viz obr. 12.



Obr. 12 Spojovací most – pohled od jihu. Větší klenba byla provizorně zajištěna výdřevou.

5. TYPOLOGIE CIHEL A ZKOUŠKY CIHEL V PLENTÁCH

5.1. POPIS TYPŮ ZDÍČÍCH PRVKŮ

Cihly použité u cihelné plenty na líci stěn hradního příkopu jsou značně různorodé. Jedná se o cihly různého stáří, barvy, struktury a kvality střepe a různých rozměrů.

Nejstarším prvkem jsou středověké vysoké cihly, tzv. buchty. Ty jsou na pohled charakterizované výškou 75 mm a více.

Dalším typem nacházejícím se v konstrukci jsou cihly s výrazně žlutou barvou střepe. Tyto cihly se objeví především v místech lokálních oprav poškozené plenty (především na východní stěně). Většina těchto cihel se jeví jako nekompletní, tudíž nebylo možné u zkoušených prvků určit původní délku tohoto staviva.

Dále je v plentách zastoupený typ cihel předmetrického formátu, jejichž délka se pohybuje nepatrně pod hodnotou délky metrické cihly (290 mm). Barva střepe tohoto

typu cihel kolísá mezi oranžovou a černočervenou barvou. Vzhledem k tvarovým nedostatkům je jejich původ zařazen někde v 17. – 18. století.

Posledním typem jsou strojně vyráběné cihly metrického formátu, které se v plentách vyskytují velmi často. Jejich původ je možné vztáhnout ke stavebním úpravám z poloviny 20. století.

Cihly byly pro účely stanovení pevnostních charakteristik rozděleny do následujících skupin:

Tab. 2 Roztřídění cihel pro stanovení pevnostních charakteristik.

Cihly A	metrické cihly strojně vyráběné, původ v polovině 20. století, užívané v plentách
Cihly B	cihly s výrazně žlutou barvou střepe užívané v plentách
Cihly C	všechny starší typy cihel s oranžovou až červenou barvou střepe užívané v plentách
Cihly D	směs různých typů cihel použitých v konstrukci pilíře spojovacího mostu
Cihly E	cihly s extrémně tmavou (černočervenou) barvou střepe užívané v plentách



Obr. 13 Západní stěna příkopu s patrnými velkými plochami jednorázově rekonstruované plenty v různých obdobích.



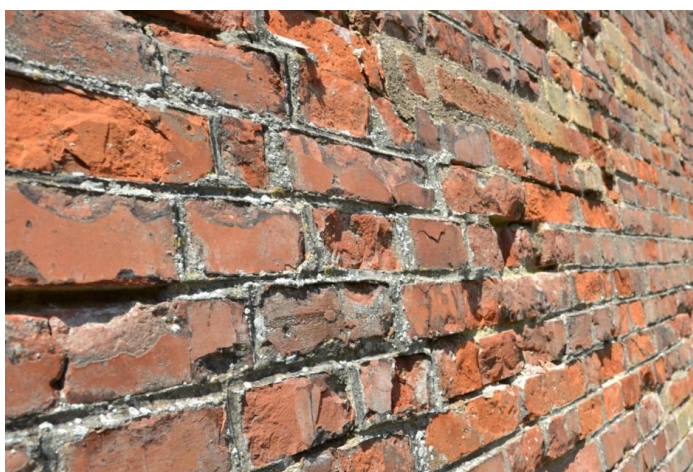
Obr. 14 Východní stěna příkopu charakterizovaná směsí sekundárně použitých cihel a plochami dílčích oprav, které se barevně liší od celku.



Obr. 15 Pilíř mostu s asi nejvíce typově variabilním souborem cihel – jsou zde zastoupeny všechny zmíněné typy současně.



Obr. 16 Příklad oblasti v západní stěně, kde převažují cihly typu A, patrné místo NDT měření A3.



Obr. 17 Spáry mezi cihlami typu A v západní stěně vyplňuje tvrdá cementová spárovací malta, která způsobuje porušení a odpadnutí jejich povrchové vrstvy.



Obr. 18 Příklad cihly typu B v místě NDT měření B9.



Obr. 19 Příklad oblasti ve východní stěně, kde převažují cihly typu C, v místě NDT měření C10. Na cihlách jsou patrné tvarové nedostatky, které jsou charakteristické pro starší typy cihel.



Obr. 20 Cihly v pilíři mostu v místě NDT měření D.



Obr. 21 Cihly v pilíři mostu v místě NDT měření D2.



Obr. 22 Příklad cihly typu E v místě NDT měření E1.

5.2. ZKOUŠKY ZDÍCÍCH PRVKŮ V PLENTÁCH

Nedestruktivní metodou byly odzkoušeny cihly na 50 zkušebních místech, po 12 u každého typu (A až D) a orientačně 2 cihly typu E. Zkušební místa jsou podrobně zakreslena v Příloze 1.

Ke stanovení pevnosti zdících prvků byla použita nedestruktivní metoda pomocí tvrdoměru Schmidt LB, popsána v kapitole 2.2.3. Nebylo možné provést upřesnění na odebraných vzorcích cihel, ale z předchozích zkušeností vychází součinitel upřesnění α pro použitý kalibrační vztah v rozmezí 0,85 až 1,05, a to pro typ cihel novějších (z 2. poloviny 19. stol. a 1. poloviny 20. stol.) i pro typ cihel výrazně starších.

Výsledky tvrdoměrných zkoušek jsou uvedeny v následujících tabulkách – tab. 3 až tab. 7, podle typu zkoušených cihel.

Tab. 3 Pevnost v tlaku cihel typu A

Zkuš. vzorek	Hodnoty odrazu										Upravený průměr	Pevnost v tlaku
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	R	$f_{bc,u}$
A1	32	25	33	30	30	36	34	34	29	36	32,7	25,8
A2	22	23	27	26	29	24	24	28	30	24	25,7	19,1
A3	30	34	28	29	34	33	30	33	28	32	31,1	24,3
A4	30	33	31	33	28	33	35	34	28	28	31,3	24,5
A5	37	36	39	34	37	37	34	36	35	34	35,9	28,9
A6	46	51	50	45	47	48	47	47	48	47	47,6	40,1
A7	34	34	40	38	39	38	33	30	36	36	35,8	28,8
A8	32	33	32	31	37	34	40	38	33	32	34,2	27,3
A9	28	27	30	20	22	24	27	25	30	25	26,4	19,8
A10	38	33	33	33	36	32	30	30	33	31	32,9	26,0
A11	30	36	32	37	31	29	31	33	33	27	31,9	25,1
A12	29	30	30	31	30	30	29	22	23	23	28,3	21,6
Průměr m_x												25,9
Směrodatná odchylka s_x												5,21

Tab. 4 Pevnost v tlaku cihel typu B

Zkuš. vzorek	Hodnoty odrazu										Upravený průměr	Pevnost v tlaku
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	R	$f_{bc,u}$
B1	34	29	23	29	26	26	26	24	26	27	26,2	19,6
B2	27	22	32	26	33	31	34	19	25	31	29,3	22,6
B3	28	27	34	29	27	23	30	34	26	32	29,7	22,9
B4	24	25	26	27	27	24	25	26	28	26	25,8	19,2
B5	27	26	25	17	24	24	18	21	24	25	24,5	18,0
B6	22	21	19	27	27	22	25	23	22	16	22,0	15,6
B7	17	19	21	13	18	14	18	21	19	21	19,3	13,0
B8	24	29	26	25	24	23	28	25	27	29	26,0	19,4
B9a	22	27	24	24	24	24	23	26	30	26	25,0	18,5
B9	17	15	14	19	15	16	13	18	19	20	16,6	10,4
B10	19	21	18	21	18	22	18	30	18	21	19,6	13,3
B11	20	23	20	26	27	27	24	32	29	27	26,1	19,5
B12	25	18	22	17	26	27	26	22	21	23	24,0	17,5
Průměr m_x												17,7
Směrodatná odchylka s_x												3,54

Tab. 5 Pevnost v tlaku cihel typu C

Zkuš. vzorek	Hodnoty odrazu										Upravený průměr	Pevnost v tlaku
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	R	f _{be,u}
C1	33	29	25	24	25	21	25	31	25	26	26,3	19,7
C2	22	21	25	13	20	20	20	23	30	28	21,6	15,2
C3	22	28	29	31	23	22	23	26	35	27	25,7	19,1
C4	18	21	25	16	23	20	24	20	25	25	22,3	15,9
C5	15	24	21	19	18	28	19	19	21	24	20,6	14,3
C6	14	19	15	15	15	13	20	19	16	17	16,3	10,1
C7	23	26	26	28	27	26	22	28	27	25	25,8	19,2
C8	17	14	16	20	14	19	18	17	17	21	16,9	10,7
C9	27	23	28	30	29	27	39	31	33	27	29,0	22,3
C10	20	17	17	20	15	16	20	21	16	16	17,8	11,6
C11	21	16	16	16	14	17	24	19	14	21	18,0	11,8
C12	24	19	16	19	21	24	17	19	18	20	18,6	12,4
Průměr m _x												15,2
Směrodatná odchylka s _x												3,89

Tab. 6 Pevnost v tlaku cihel typu D

Zkuš. vzorek	Hodnoty odrazu										Upravený průměr	Pevnost v tlaku
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	R	f _{be,u}
D1	13	25	22	23	20	20	20	23	19	21	21,0	14,6
D2	10	9	10	10	13	13	13	12	13	11	11,7	5,7
D3	20	26	19	13	18	25	26	23	20	22	21,0	14,6
D4	29	28	34	30	27	32	31	36	33	31	31,1	24,3
D5	31	31	30	31	28	24	33	37	35	30	31,8	24,9
D6	24	16	23	24	13	24	33	19	16	18	22,0	15,6
D7	10	10	9	10	11	13	13	11	9	9	10,0	4,1
D8	23	19	18	19	25	19	21	22	17	17	19,4	13,1
D9	16	23	21	23	15	23	19	21	22	23	21,9	15,5
D10	20	22	20	21	23	24	28	17	21	19	21,3	14,9
D11	38	35	27	27	28	28	44	48	48	40	37,7	30,6
D12	33	34	37	30	37	34	34	35	36	33	34,3	27,3
Průměr m _x												17,1
Směrodatná odchylka s _x												7,83

Tab. 7 Pevnost v tlaku cihel typu E

Zkuš. vzorek	Hodnoty odrazu										Upravený průměr	Pevnost v tlaku
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	R	$f_{be,u}$
E1	38	43	35	35	28	29	39	39	38	29	35,3	28,3
E2	34	37	41	34	44	39	36	33	41	31	37,0	29,9
Průměr m_x												29,1
Směrodatná odchylka s_x												0,84

Výsledkem vyhodnocení tvrdoměrných zkoušek je hodnota pevnosti průměrná, která se stanoví jako dolní hranice konfidenčního intervalu pro průměr.

Pro přepoččet na normalizovanou pevnost v tlaku zdících prvků byl použit ve všech případech součinitel $\delta = 0,75$ (výška prvku 65 mm, šířka 150 mm). Výsledky viz tab. 8 – tab. 11.

Tab. 8 Průměrná a normalizovaná pevnost v tlaku cihel – typ A.

Průměrná pevnost v tlaku cihel typu "A"			
Veličina	Značka	Jednotka	Hodnota
Průměrná hodnota pevnosti	m_x	[MPa]	25,9
Počet vzorků	n	[-]	12
Výběrová směrodatná odchylka	s_x	[MPa]	5,21
Součinitel odhadu konfidenčního intervalu	t_n	[-]	0,39
Průměrná pevnost v tlaku kusového staviva	$f_{b,u}$	[MPa]	23,9
Pevnostní značka ČSN EN 771 - 1		[MPa]	20
Normalizovaná pevnost v tlaku zdících prvků	f_b	[MPa]	17,9

Tab. 9 Průměrná a normalizovaná pevnost v tlaku cihel – typ B.

Průměrná pevnost v tlaku cihel typu "B"			
Veličina	Značka	Jednotka	Hodnota
Průměrná hodnota pevnosti	m_x	[MPa]	17,7
Počet vzorků	n	[-]	13
Výběrová směrodatná odchylka	s_x	[MPa]	3,54
Součinitel odhadu konfidenčního intervalu	t_n	[-]	0,38
Průměrná pevnost v tlaku kusového staviva	$f_{b,u}$	[MPa]	16,3
Pevnostní značka ČSN EN 771 - 1		[MPa]	15
Normalizovaná pevnost v tlaku zdících prvků	f_b	[MPa]	12,2

Tab. 10 Průměrná a normalizovaná pevnost v tlaku cihel – typ C.

Průměrná pevnost v tlaku cihel typu "C"			
Veličina	Značka	Jednotka	Hodnota
Průměrná hodnota pevnosti	m_x	[MPa]	15,2
Počet vzorků	n	[-]	12
Výběrová směrodatná odchylka	s_x	[MPa]	3,89
Součinitel odhadu konfidenčního intervalu	t_n	[-]	0,39
Průměrná pevnost v tlaku kusového staviva	$f_{b,u}$	[MPa]	13,7
Pevnostní značka ČSN EN 771 - 1		[MPa]	10
Normalizovaná pevnost v tlaku zdělicích prvků	f_b	[MPa]	10,2

Tab. 11 Průměrná a normalizovaná pevnost v tlaku cihel – typ D.

Průměrná pevnost v tlaku cihel typu "D"			
Veličina	Značka	Jednotka	Hodnota
Průměrná hodnota pevnosti	m_x	[MPa]	17,1
Počet vzorků	n	[-]	12
Výběrová směrodatná odchylka	s_x	[MPa]	7,83
Součinitel odhadu konfidenčního intervalu	t_n	[-]	0,39
Průměrná pevnost v tlaku kusového staviva	$f_{b,u}$	[MPa]	14,1
Pevnostní značka ČSN EN 771 - 1		[MPa]	10
Normalizovaná pevnost v tlaku zdělicích prvků	f_b	[MPa]	10,5

Pevnostní značky cihel byly přiřazeny dle ČSN EN 771 - 1 [14].

Díky typologickému roztržení cihel vycházely výsledky u jednotlivých typů cihel poměrně rovnoměrně. Největší rozdíly v pevnostech byly naměřeny u typu D vzhledem k tomu, že jednalo o nesourodou směs cihel různého stáří v pilíři spojovacího mostu. U typu E byly odzkoušeny pouze 2 vzorky, tudíž nemohly být výsledky statisticky zpracovány. Jednalo se o nejpevnější typ cihel a průměrná pevnost u něj vycházela přibližně o 5 MPa více než u typu A. Orientačně je tedy možné typu E přiřadit pevnostní značku 25.

6. ZKOUŠKY MALTY V PLENTÁCH

6.1. ZKOUŠKY MALTY VE SPÁRÁCH ZDIVA PLENT VRTNOU METODOU

Malta ve spárách byla zkoušena semidestruktivní metodou pomocí upravené ruční vrtačky (viz kapitola 2.3.2.). Odzkoušeno bylo celkově 18 maltových spár v plentách. Zkušební místa jsou podrobně zaznačena v Příloze 1. Ukázky typických maltových spár jsou uvedeny na následujících obrázcích (obr. 23 – obr. 26).



Obr. 23 Zkušební spára č. 5. Malta zde byla zcela nesoudržná, na povrchy byly zbytky cementové spárovací malty.



Obr. 24 Zkušební spára č. 12. Malta zde měla velmi nízkou pevnost, již po 5-ti otáčkách došlo k úplnému zavrtání vrtáku.



Obr. 25 Zkušební spára č. 14. Malta zde patřila k těm lepším, pevnost v tlaku se pohybovala okolo 1 MPa.



Obr. 26 Zkušební spára č. 18. Malta zde měla pod vrstvou cementové spárovací malty vyšší pevnost např. oproti místu č. 5.

Výsledky zkoušek malty včetně jejich statistického vyhodnocení jsou uvedeny v tab. 12. Statistické vyhodnocení bylo provedeno na základě stanovení dolní hranice konfidenčního intervalu pro průměr a přiřazení pevnostní třídy. Při zkoušení všech maltových spár bylo nezbytné odstranit povrchovou spárovací maltu, která měla prakticky na všech zkoušených místech odlišné vlastnosti proti maltě ve větší hloubce (spárovací malta byla výrazně lepší). Spárovací malta, která byla identifikovaná podle antuky, byla zkoušena ve dvou případech a výsledky tohoto zkoušení jsou uvedeny v tab. 13. Cementová spárovací malta touto metodou zkoušena nebyla.

Tab. 12 Vyhodnocení pevnosti v tlaku malty zdiva plent – na základě vrtné metody

Zkušební místo	Hloubka vrtu d [mm]				Test platností		Pevnost v tlaku
	1	2	3	průměr	d _{max}	d _{min}	f _{m,i} [MPa]
1	> 80 (10)	> 80 (10)	> 80 (10)	> 80 (10)	-	-	0,08
2	> 80 (20)	> 80 (20)	> 80 (20)	> 80 (10)	-	-	0,16
3	28	29	31	29,3	20,5	38,1	0,96
4	20	21	20	20,3	14,2	26,4	1,71
5	zcela nesoudržná malta			-	-	-	0,00
6	> 80 (0)	> 80 (0)	> 80 (0)	> 80 (0)	-	-	0,00
7	48	45	44	45,7	32,0	59,4	0,48
8	48	32	38	39,3	27,5	51,1	0,61
9	22	27	24	24,3	17,0	31,6	1,29
10	33	35	38	35,3	24,7	45,9	0,72
11	35	27	38	33,3	23,3	43,3	0,79
12	> 80 (5)	> 80 (5)	> 80 (5)	> 80 (5)	-	-	0,04
13	> 80 (5)	> 80 (5)	> 80 (5)	> 80 (5)	-	-	0,04
14	24	26	32	27,3	19,1	35,5	1,08
15	25	24	22	23,7	16,6	30,8	1,35
16	> 80 (20)	> 80 (20)	> 80 (20)	> 80 (20)	-	-	0,16
17	> 80 (20)	> 80 (20)	> 80 (20)	> 80 (20)	-	-	0,16
18	22	24	24	23,3	16,3	30,3	1,38
Průměrná hodnota m _x							0,61
Směrodatná odchylka s _x							0,57
Pevnost f _m (f _m = m _x - s _x *t _n ; t _n = 0,32)							0,43

Tab. 13 Vyhodnocení pevnosti v tlaku spárovací malty s obsahem antuky – na základě vrtné metody

Zkušební místo	Hloubka vrtu d mm				Test platností		Pevnost v tlaku
	1	2	3	průměr	d _{max}	d _{min}	f _{m,i} [MPa]
8a	10	12	15	12,3	8,6	16,0	3,71
16a	18	11	15	14,7	10,3	19,1	2,83
Průměrná hodnota m _x							3,27

Kvalita malty v různých spárách kolísala, obecně ale není možné říct, že v některé ploše byla lepší než v jiné. Malta byla zkoušena ve třech plentách a ve všech dosahovala pevnosti 1 MPa, někde se vyskytovala i malta s téměř nulovou pevností. Ve výpočtech lze tudíž použít všude průměrnou pevnost v tlaku malty $f_m = 0,4$ MPa.

Spárovací malta novějšího typu – hrubozrnná s příměsí antuky byla zkoušena vrtnou metodou pouze okrajově. Pevnost v tlaku této spárovací malty byla na dvou místech zjištěna okolo 3 MPa. Další spárovací malta byla zkoušena na tělesech vyrobených z odebraných vzorků.

6.2. ZKOUŠKY MALTY SPÁROVACÍ NA TĚLESECH Z ODEBRANÝCH VZORKŮ

Spárovací malta má zásadní význam jak z hlediska vzhledu zdiva, tak z hlediska odolnosti vůči povětrnostním a především teplotním vlivům. Spárovací malta nízké pevnosti se brzy vydrolí a naopak příliš pevná spárovací malta může zapříčinit značné poruchy zdiva, které souvisejí s napětím vzniklým od teplotní roztažnosti materiálu.

Pro následné zkoušky byly odseknutím odebrány vzorky spárovací malty, které byly typologicky rozřazeny následovně:

Tab. 14 Roztřídění spárovací malty pro následné zkoušky.

A.	Spárovací malta nižší pevnosti zřejmě s hydraulickým vápnem, hrubší zrnitost plniva, příměs antuky (pro dosažení přirozeného vzhledu staré malty).
B.	Spárovací malta cementová, jemnější zrnitost, z míst povrchově poškozeného zdiva.
C.	Spojovací malta cementová z povrchové vrstvy kamenného zdiva zadní plenty. Ve skutečnosti se nejedná o spárovací maltu v pravém smyslu.

Odebrané vzorky jsou vyfoceny na následujících obrázcích (obr. 27 – obr. 30) a odpovídají označení míst odběru vzorků v Příloze 1.



Obr. 27 Vzorky spárovací malty, typ A, č. I., II., III. A IV. – novější spárovací malta o hrubší zrnitosti a s obsahem antuky.



Obr. 28 Vzorky spárovací malty, typ B, č. V. – cementová spárovací malta s jemnější zrnitostí, vizuálně velmi pevná.



Obr. 29 Vzorek spárovací malty, typ B, č. VI. – cementová spárovací malta odebraná v patě zdiva (vysprávka).



Obr. 30 Vzorek cementové malty, typ C, č. VII. – odebrán z povrchové vrstvy kamenného zdiva zadní porušené plentý.

Pro stanovení pevnosti v tlaku malty a dynamického modulu pružnosti byla z odebraných vzorků vyrobena zkušební tělesa, která jsou dokumentována na následujících obrázcích (obr. 31 – obr. 33).



Obr. 31 Zkušební tělesa ze spárovací malty s antukou – pro stanovení dynamického modulu pružnosti.



Obr. 32 Zkušební tělesa ze spárovací malty cementové – 2 a 3 určena ke stanovení dynamického modulu pružnosti.



Obr. 33 Zkušební tělesa ze spojovací malty kamenného zdiva.

Výsledky zkoušek pevnosti v tlaku spárovací malty typu A s obsahem antuky jsou uvedeny v tab. 15 a značně se shodují s výsledky z vrtné metody.

Tab. 15 Vyhodnocení pevnosti v tlaku zkušebních těles – spárovací malta typu A s obsahem antuky.

Vrt/vzorek	Šířka b [mm]	Délka l [mm]	Výška h [mm]	Hmotnost m _r [g]	Síla F [kN]	Objem.hm. D _r [kg/m ³]	Pevnost f _c [MPa]
SM - 1	25,00	25,40	23,40	23,87	1,6	1606	2,5
SM - 2	23,60	24,30	24,10	21,68	3,0	1569	5,2
Průměr						1 590	3,9

Pevnost na dvou tělesech je v průměru 3,9 MPa. Jde tedy zřejmě o vhodně navrženou spárovací maltu s dostatečně vysokou pevností v tlaku z důvodu odolnosti vůči povětrnostním vlivům a zároveň s dostatečně nízkou pevností v tlaku z hlediska poddajnosti malty.

V tab. 16 jsou uvedeny výsledky zkoušky malty typu B. Jedná se o novější cementovou spárovací maltu o velmi vysoké pevnosti v tlaku, která je v podstatě příčinou porušení části cihelné plenty. Vzorek byl odebraný v patě zdiva, protože z tohoto místa bylo možné získat větší zkušební těleso. Malta ve spárách vykazovala vizuálně značně podobné vlastnosti. Vzhledem k nepoddajnosti malty lze říci, že je hlavní příčinou porušení cihel ve zdivu do hloubky, do které spárovací malta zasahuje. Pro použití v lícovém zdivu je tato malta nevhodná.

Tab. 16 Vyhodnocení pevnosti v tlaku zkušebních těles – cementová malta typu B

Vrt/vzorek	Šířka b [mm]	Délka l [mm]	Výška h [mm]	Hmotnost m _r [g]	Síla F [kN]	Objem.hm. D _r [kg/m ³]	Pevnost f _c [MPa]
SMC - 1	38,90	39,00	39,00	131,82	129,8	2228	85,6
Průměr						2 230	85,6

Dále byla vyrobena zkušební tělesa pro stanovení dynamického modulu pružnosti z ultrazvukového měření pro oba typy vzorků. V tab. 17 jsou uvedeny výsledky těchto měření.

Tab. 17 Vyhodnocení dynamických modulů pružnosti – spárovací malta typ A a B.

Označení tělesa	Doba průchodu impulsů UZ vln T _{uz} [μs]				Rychlost ultrazvuku	Dynamický modul pružnosti
	"1"	"2"	"3"	Průměr	v _L m/s	E _{cu} Mpa
SM - 3	27,7	26,6	30,9	28,4	2440	8500
SMC - 2	15,1	15,1	15,2	15,1	4340	37800
SMC - 3	12,2	12,4	12,4	12,3	4380	38500

Vzhledem k tomu, že hodnoty rychlosti šíření ultrazvuku spárovací malty cementové (SMC) jsou značně vysoké (nad 4300 m/s), vychází hodnoty dynamického modulu pružnosti okolo 38 GPa. Statický modul pružnosti cementové maty je nižší oproti dynamickému (přibližně 0,80krát pro maltu této kvality), přesto je odhad statického modulu pružnosti cementové malty 30 GPa. Modul pružnosti novější spárovací malty s antukou (SM) je řádově nižší, což znamená, že tato malta umožňuje přenášet deformace od teplotních změn.

Ze spár mezi kameny kamenné plenty jižní stěny byly odebrány poslední zkoušené vzorky, cementové malty typu C. Jedná se o maltu zdící, ne spárovací. Vizualně se zdá, že jde o maltu cementovou, která je typická pro novější kamenné zdivo. Výsledky tohoto typu malty jsou uvedeny v tab. 18. Jedná se doopravdy o cementovou maltu, jejíž pevnost v tlaku je vyšší než 25 MPa.

Tab. 18 Vyhodnocení pevnosti v tlaku zkušebních těles – cementová malta typu C.

Vrt/vzorek	Šířka b [mm]	Délka l [mm]	Výška h [mm]	Hmotnost m _r [g]	Síla F [kN]	Objem.hm. D _r [kg/m ³]	Pevnost f _c [MPa]
KP - P1	37,10	37,50	38,50	114,78	38,0	2143	27,3
KP - P2	26,50	29,70	29,70	49,90	30,8	2135	39,1
Průměr						2 140	33,2

7. STANOVENÍ SKLADBY ZDIVA JÁDROVÝMI VÝVRTY

7.1. VÝVRT V1

Jádrový vývrt V1 byl proveden o Ø 100 mm ve zdivu klenby spojovacího mostu. Místo odběru je označeno v Příloze 1 a zdokumentováno na obr. 34.



Obr. 34 Místo odběru jádrového vývrtu V1.

Tab. 19 Skladba vývrtu V1.

Skladba odebraného vývrtu	
0 - 600 mm	cihelné zdivo klenby
600 - 870 mm	malta s fragmenty cihel
870 - 900 mm	jílovitá hlína s kořeny vegetace

Výsledky laboratorních zkoušek materiálů z vývrtní V1 jsou uvedeny v kapitole 8.

Materiály obsažené ve vývrtní V1 – charakteristika

Jádrovým vývrtem bylo prokázáno, že v celé výšce klenby (600 mm) je zdivo dobře vyzdění z celých cihel, vazba je dobrá, ložné i styčné spáry jsou dobře vyplněny vápennou maltou (s pevností v tlaku přibližně 1MPa – odhad, který byl následně ověřen zkouškami na tělesech, viz kapitola 8). Cihly jsou poměrně kvalitní. Problémem je skladba nad rubní stranou klenby, kde je zdivo spíše nesoudržné, a za zmínku stojí i kořeny vegetace, které se objevují v hlíněné vrstvě v hloubce 870 – 900 mm.

Na obr. 35 - 37 je zdokumentováno odebrané jádro.



Obr. 35 Jádro odebrané z vývrtní V1.



Obr. 36 Jádro odebrané z vývrtní V1 – detail 0 – 500 mm.



Obr. 37 Jádro odebrané z vývrtní V2 – detail 410 – 900 mm.

7.2. VÝVRT V2

Jádrový vývrt V2 byl proveden o Ø 100 mm ve zdivu klenby spojovacího mostu, šikmo nahoru, směrem ke střednímu pilíři mostu. Místo odběru je označeno v Příloze 1 a zdokumentováno na obr. 38.



Obr. 38 Místo odběru jádrového vývrtu V2, na povrchu zvláštní spárovací malty špatné kvality a nepřirozené barvy.

Tab. 20 Skladba vývrtu V2.

Skladba odebraného vývrtu	
0 - 680 mm	cihelné zdivo klenby - do 450 mm kompaktní, dále rozpadlé
680 - 800 mm	malta s fragmenty cihel - cihly prolévané maltou

Výsledky laboratorních zkoušek materiálů z vývrtu V2 jsou uvedeny v kapitole 8.

Materiály obsažené ve vývrtu V2 – charakteristika

Jádrovým vývrtem byla prokázána poměrně dobrá kvalita cihel i malty do hloubky 450 mm. Horní část vývrtu u rubního líce klenby (450 – 600 mm) se rozpadla díky vrtání. V hloubce 800 mm pak byla zjištěna přítomnost cihel prolévaných maltou.

Do hloubky 450 mm je vazba zdiva dobrá, dále už je horší. Ložné i styčné spáry jsou dobře vyplněny vápennou maltou (s pevností v tlaku přibližně 1MPa – odhad, který byl následně ověřen zkouškami na tělesech, viz kapitola 8).

V místě vrtu V2 má lícové zdivo velmi dobrou kvalitu, ovšem nelze to říct o celé klenbě. Pro odběr vzorků bylo možné použít pouze malou obnaženou plochu ve výdřevě. V okolních místech pod výdřevou byla místa s mnohem horší kvalitou cihel, a některé z nich byly dříve plombovány pomocí cihelných pásků.

Na obr. 39 - 41 je zdokumentováno odebrané jádro.



Obr. 39 Jádru odebrané z vývrtu V2.



Obr. 40 Jádru odebrané z vývrtu V2 – detail 0 – 480 mm.



Obr. 41 Jádru odebrané z vývrtu V2 – detail 420 – 800 mm.

7.3. VÝVRT V3

Jádrový vývrt byl proveden o Ø 100 mm v místě, kde je stěna hradního příkopu kryta cihelnou plentou. Vývrt byl odebraným zhruba ve výšce 4 m nad povrchem terénu. Odebraný vývrt začíná přibližně 180 mm pod povrchem cihelné plenty, neboť v těchto místech byla plenta poškozena a zdivo vypadlo. Místo odběru je vyznačeno v Příloze 1 a zdokumentováno na obr. 42.



Obr. 42 Místo odběru jádrového vývrtu V3.

Tab. 21 Skladba vývrtu V3.

Skladba odebraného vývrtu	
0 - 180 mm	cihelné zdivo
180 - 910 mm	maltou prolévané kusy kamene a fragmenty cihel - jsou zde zastoupeny oba základní druhy kamene, které se objevují v líci stěn příkopu

Výsledky laboratorních zkoušek materiálů z vývrtu V3 jsou uvedeny v kapitole 8.

Materiály obsažené ve vývrtu V3 – charakteristika

Vzhledem k tomu, že vývrt začíná až v hloubce 180 mm, není ve vývrtu obsažena lícová cihla plenty. Dále následuje nesourodá směs složená z menších kusů cihel a větších kamenů, které spojuje malta o velmi nízké kvalitě. Vlivem malé

soudržnosti se tato malta částečně rozplavila při vrtání, a tudíž nebylo možné ze zbývajících příliš malých a nepravidelných kousků malty vyrobit zkušební tělesa ke stanovení pevnosti. Odhadem lze maltě přiřadit pevnost 0,4 MPa.

Za lícovou plentou se tudíž jedná spíše o rovinaninu z různých materiálů prolévanou maltou než o zdivo.

Na obr. 43 - 46 je zdokumentováno odebrané jádro.



Obr. 43 Jádro odebrané z vývrtní V3.



Obr. 44 Jádro odebrané z vývrtní V3 – detail 0 – 400 mm.



Obr. 45 Jádro odebrané z vývrtní V3 – detail 380 – 710 mm.



Obr. 46 Jádro odebrané z vývrtní V3 – detail 670 – 910 mm.

7.4. VÝVRT V4

Jádrový vývrt o Ø 100 mm byl proveden v místě, kde je stěna hradního příkopu kryta cihelnou plentou. Vývrt byl odebrán ve výšce zhruba 7,5 m nad povrchem terénu, v místě pod instalací osvětlovacích těles. V tomto místě byla pod cihelnou plentou zjištěna akusticky dutina. Místo odběru je vyznačeno v Příloze 1 a je zdokumentováno na obr. 47.



Obr. 47 Místo odběru jádrového vývrtu V4.

Tab. 22 Skladba vývrtu V4.

Skladba odebraného vývrtu	
0 - 290 mm	cihelné zdivo
290 - 1100 mm	maltou prolévané kusy kamene a fragmenty cihel - jsou zde zastoupeny oba základní druhy kamene, které se objevují v líci stěn příkopu

Výsledky laboratorních zkoušek materiálů z vývrtu V4 jsou uvedeny v kapitole 8.

Materiály obsažené ve vývrtu V4 – charakteristika

Lícová cihla plenty (vazák) má poměrně dobrou kvalitu. Dále ve vývrtu následuje kamenná rovnanina prolévaná maltou o nízké pevnosti. Stejně jako u předchozího vývrtu nebylo možné vyrobit zkušební tělesa pro stanovení pevnosti

malty kvůli malé soudržnosti. Odhadem byla maltě přiřazena pevnost 0,4 MPa. Vazba zdících prvků za lícovou plentou je špatná.

Na obr. 48 - 51 je zdokumentováno odebrané jádro.



Obr. 48 Jádro odebrané z vývrtnu V4.



Obr. 49 Jádro odebrané z vývrtnu V4 – detail 0 – 350 mm.



Obr. 50 Jádro odebrané z vývrtnu V4 – detail 260 – 700 mm.



Obr. 51 Jádro odebrané z vývrtnu V4 – detail 600 – 1000 mm.

7.5. VÝVRT V5

Jádrový vývrt o Ø 100 mm a od hloubky 670 mm o Ø 50 mm byl proveden v místě, kde je stěna hradního příkopu kryta kamennou a cihelnou plentou, v úrovni středu výšky kamenného krakorce. Začátek vývrtu je v hloubce 180 mm pod povrchem plenty, neboť v tomto místě byla plenta dříve poškozena. Místo odběru je vyznačeno v Příloze 1 a zdokumentováno na obr. 52.



Obr. 52 Místo odběru jádrového vývrtu V5.

Tab. 23 Skladba vývrtu V5.

Skladba odebraného vývrtu	
0 - 200 mm	cihelné zdivo
200 - 1000 mm	prokládaný beton - beton prokládaný kusovým stavebním kamenem, vyskytují se zde oba základní druhy kamene jako v líci ostatních stěn příkopu

Výsledky laboratorních zkoušek materiálů z vývrtu V5 jsou uvedeny v kapitole 8.

Materiály obsažené ve vývrtu V5 – charakteristika

Vývrt neobsahuje lícovou cihlu (kámen), neboť byl odebrán v místě odpadlé části plenty. Dál se nachází cihelné zdivo o průměrné kvalitě s maltou velmi nízké

pevnosti (odplavila se při vrtání). Od hloubky 200 mm (tedy 380 mm celkově od líce plenty) následuje prokládaný beton, který vznikl pravděpodobně kolem roku 1940 a je v celé délce vývrtu poměrně kompaktní (do 1120 mm od líce vrtu, tedy 1300 mm od líce plenty). Pojivo z hlediska betonu má vizuálně nízkou pevnost, ale oproti maltě používané ve starších plentách má pevnost výrazně vyšší. Odhadem byla pojivu přiřazena pevnost 5 až 10 MPa a následně to bylo prokázáno zkouškami v kapitole 8.

Problémy s odpadáváním plenty vznikají tedy ve vrstvě zdiva mezi kamennou plentou a prokládaným betonem, v hloubce 180 – 380 mm pod povrchem.

Na obr. 53 - 56 je zdokumentováno odebrané jádro.



Obr. 53 Jádru odebrané z vývrt V5.



Obr. 54 Jádru odebrané z vývrtu V5 – detail 0 – 370 mm.



Obr. 55 Jádru odebrané z vývrtu V5 – detail 350 – 670 mm.



Obr. 56 Jádru odebrané z vývrtu V5 – detail 660 – 960 mm.

7.6. VÝVRT V6

Jádrový vývrt o $\varnothing$ 100 mm a od hloubky 760 mm o $\varnothing$ 50 mm byl proveden v místě, kde je stěna hradního příkopu kryta kamennou plentou. Vývrt byl odebrán ve výšce zhruba 1 m nad povrchem terénu. Začátek odebraného vývrtu je v hloubce 60 mm pod povrchem kamenné plenty, neboť lícový kámen byl odstraněn kvůli následnému zapravení vývrtu. Místo odběru je vyznačeno v Příloze 1 a zdokumentováno na obr. 7 - 58.



Obr. 57 Místo odběru jádrového vývrtu V6.



Obr. 58 Detail vývrtu V6 s patrným přechodem vrtaného průměru 100/50 mm a strukturou betonu.

Tab. 24 Skladba vývrtu V6.

Skladba odebraného vývrtu	
0 - 140 mm	kamenné zdivo - kámen a malty nízké kvality
140 - 1000 mm	prokládaný beton - beton prokládaný kusovým stavebním kamenem, vyskytují se zde oba základní druhy kamene jako v líci ostatních stěn příkopu, případně fragmenty cihel

Výsledky laboratorních zkoušek materiálů z vývrtu V6 jsou uvedeny v kapitole 8.

Materiály obsažené ve vývrtu V6 – charakteristika

Z důvodu následného zapravení vývrtu byl do hloubky 60 mm odstraněn lícový kámen, tudíž není obsažen ve vývrtu. Dále se do hloubky přibližně 200 mm od líce plenty nachází vrstva s maltou velmi nízké pevnosti (kolem 1 MPa). Od hloubky 200 mm od líce plenty následuje prokládaný beton, který je kompaktní v celé délce vývrtu. Pevnost pojiva betonu byla odhadem určena 5 MPa a v kapitole 8 to bylo následně potvrzeno. V celé délce vývrtu (do hloubky 1060 mm od líce plenty) je ale důležitá jeho soudržnost.

Na obr. 59 – 62 je zdokumentováno odebrané jádro.



Obr. 59 Jádro odebrané z vývrtu V6.



Obr. 60 Jádro odebrané z vývrtu V6 – detail 0 – 360 mm.



Obr. 61 Jádro odebrané z vývrtu V6 – detail 360 – 760 mm.



Obr. 62 Jádro odebrané z vývrtu V6 – detail 700 – 1000 mm.

8. LABORATORNÍ ZKOUŠKY MATERIÁLŮ Z VÝVRTŮ

8.1. ZKOUŠKY CIHEL

Pro stanovení pevnosti v tlaku cihel byla z odebraných jádrových vývrtů vyrobena zkušební tělesa, tzv. reprezentativní části cihel ve tvaru krychlí. Standardně je rozměr těchto krychlí 50 mm, ovšem ne vždy je možné ho dodržet. Pokud je vzorek delší je možné získat více těles – jedna část je pak zkoušena ve stavu vysušeném a druhá pak ve stavu nasyceném vodou. Z poměru pevností v tlaku vysušených a nasycených cihel je možné získat tzv. ukazatel změknutí pevnosti v tlaku. Tento ukazatel je citlivým indikátorem kvality použitých cihel.

Reprezentativní části cihel, které byly získány vyřezáním z jádrových vývrtů, jsou zdokumentovány na obr. 63 - 66.



Obr. 63 Zkušební tělesa nařezaná z jádrového vývrtu V1 pro pevnostní zkoušky. Tělesa 1 – 1 a 1 – 3 zkoušena ve stavu vysušeném. Tělesa 1 – 2 a 1 – 4 zkoušena ve stavu nasyceném.



Obr. 64 Zkušební tělesa nařezaná z jádrového vývrtu V2 pro pevnostní zkoušky. Tělesa 2 – 1 a 2 – 3 zkoušena ve stavu vysušeném. Tělesa 2 – 2 a 2 – 4 zkoušena ve stavu nasyceném.



Obr. 65 Zkušební tělesa nařezaná z jádrového vývrtu V3 a V5 pro pevnostní zkoušky.



Obr. 66 Zkušební tělesa nařezaná z jádrového vývrtu V4 pro pevnostní zkoušky. Tělesa 4 – 1 a 4 – 3 zkoušena ve stavu vysušeném. Tělesa 4 – 2 a 4 – 4 zkoušena ve stavu nasyceném.

V tab. 25 a tab. 26 jsou uvedeny výsledky zkoušek cihel ve stavu vysušeném.

Tab. 25 Charakteristiky zkušebních těles z cihel – stav vysušený.

Označení vzorku	Výška h_p [mm]	Šířka w_p [mm]	Délka l_p [mm]	Hmotnost $m_{d,p}$ [g]	Síla v tlaku F_c [kN]
Vrty V1, V2					
1-1	51,5	51,8	51,4	220,7	45,4
1-3	46,2	46,1	45,8	155,9	33,6
2-1	46,4	46,5	46,5	166,1	41,2
2-3	42,0	42,3	42,4	124,3	35,1
Vrty V3, V4					
3-1	36,9	39,1	37,0	94,6	14,1
3-2	32,1	32,3	35,3	62,6	33,2
4-1	50,8	52,0	52,2	238,8	55,0
4-3	52,0	50,3	51,8	231,8	53,7
Vrt V5					
5-1	32,4	28,2	32,9	54,4	33,6

Tab. 26 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku částí cihel – stav vysušený

Označení vzorku	Objemová hmotnost $\rho_{d,p}$ [kg/m ³]	Pevnost v tlaku tělesa $f_{b,p}$ [N/mm ²]	Normalizovaná pevnost v tlaku f_b [N/mm ²]	Přepočet na celou cihlu $f_{b,u}$ [N/mm ²]
1-1	1610	17,1	14,5	18,8
1-3	1598	15,9	13,5	17,6
2-1	1656	19,1	16,2	21,0
2-3	1650	19,6	16,6	21,6
Průměr V1, V2	1630	17,9	15,2	19,8
3-1	1772	9,7	8,3	10,8
3-2	1710	29,1	24,8	32,1
4-1	1732	20,3	17,2	22,4
4-3	1711	20,6	17,5	22,8
Průměr V3, V4	1730	19,9	16,9	22,0
5-1	1810	36,2	30,8	40,0
Průměr V5	1810	36,2	30,8	40,0

Výsledky zkoušek cihel ve stavu nasyceném jsou uvedeny v tab. 27 a tab. 28. Z vývrtů V3 a V5 nebylo možné získat adekvátní dvojice těles (z jednoho prvku), proto je nasycených těles méně.

Tab. 27 Charakteristiky zkušebních těles z cihel – stav nasycený

Označení vzorku	Výška h_p [mm]	Šířka w_p [mm]	Délka l_p [mm]	Hmotnost $m_{s,p}$ [g]	Síla v tlaku F_c [kN]
Vrty V1, V2					
1-2	50,2	51,1	48,1	229,6	27,9
1-4	38,9	41,3	40,6	123,1	25,0
2-2	45,1	45,5	45,8	181,4	22,8
2-4	48,0	48,0	48,0	213,8	23,7
Vrt V4					
4-2	52,3	50,7	51,9	281,6	53,5
4-4	52,4	50,7	52,1	282,2	57,1

Tab. 28 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku částí cihel – stav nasycený

Označení vzorku	Objemová hmotnost $\rho_{s,p}$ [kg/m ³]	Pevnost v tlaku tělesa $f_{bs,p}$ [N/mm ²]	Normalizovaná pevnost v tlaku f_{bs} [N/mm ²]	Přepočet na celou cihlu $f_{bs,u}$ [N/mm ²]
1-2	1861	11,4	9,6	12,5
1-4	1887	14,9	12,7	16,5
2-2	1930	10,9	9,3	12,1
2-4	1933	10,3	8,7	11,4
Průměr V1, V2	1900	11,9	10,1	13,1
4-2	2046	20,3	17,3	22,4
4-4	2039	21,6	18,4	23,9
Průměr V4	2040	21,0	17,8	23,2

V tab. 29 je uveden ukazatel změknutí pro cihly z klenby, v tab. 30 pak pro cihly z plenty. Ukazatel změknutí byl získán porovnáním pevností v tlaku nasycených a vysušených cihel.

Běžně se hodnota ukazatele změknutí pro pevnost v tlaku cihel pohybuje okolo 0,8. U cihel z klenby je zjištěná hodnota výrazně nižší, to může být způsobeno buď výpalem při nižší teplotě, nebo degradací cihel. U cihel z vývrtu V4 byla hodnota ukazatele změknutí vyšší než 1,00, což vypovídá o vysoké kvalitě cihel.

Tab. 29 Ukazatel změknutí v tlaku – vzorky z klenby, při nasycení vodou

Místo	Zkušební těleso	Pevnost v tlaku $f_{b,p}$ tělesa [MPa]	Zkušební těleso	Pevnost v tlaku tělesa $f_{bs,p}$ [MPa]	Ukazatel změknutí KZ_c	
					Jednotlivý	Průměr
Klenba	1-1	17,1	1-2	11,4	0,67	0,68
Klenba	1-3	15,9	1-4	14,9	0,94	
Klenba	2-1	19,1	2-2	10,9	0,57	
Klenba	2-3	19,6	2-4	10,3	0,53	

Tab. 30 Ukazatel změknutí v tlaku – vzorky z plenty, při nasycení vodou

Ukazatel změknutí cihel v tlaku při nasycení vodou - vzorky z plenty						
Místo	Zkušební těleso	Pevnost v tlaku $f_{b,p}$ tělesa [MPa]	Zkušební těleso	Pevnost v tlaku tělesa $f_{bs,p}$ [MPa]	Ukazatel změknutí KZ_c	
					Jednotlivý	Průměr
Plenta	4-1	20,3	4-2	20,3	1,00	1,02
Plenta	4-3	20,6	4-4	21,6	1,05	

Nakonec byla stanovena nasákavost cihel, výsledky jsou uvedeny v tab. 31. Na všech zkušebních tělesech vyšly výsledky nasákavosti srovnatelně a to bez ohledu na umístění v konstrukci, přičemž hodnota nasákavosti okolo 19% je naprosto běžná pro obyčejné zdící cihly.

Tab. 31 Nasákavost vzorků cihel

Označené vzorku	Místo odběru	Hmotnost nasycený [g]	Hmotnost vysušený [g]	Vlhkost hmotnostní W [%]
1-2	Klenba	229,88	191,08	20,3
1-4	Klenba	123,37	103,49	19,2
2-2	Klenba	181,55	152,41	19,1
2-4	Klenba	213,01	179,06	19,0
4-2	Plenta	164,48	137,90	19,3
4-4	Plenta	277,42	231,83	19,7
Průměr				19,4

8.2. ZKOUŠKY MALTY A POJIVA

Ze všech jádrových vývrtů se podařilo získat jen několik zkušebních těles vzhledem k nízké soudržnosti a přítomnosti velkých nepravidelných kamenů u prokládaného betonu. Výsledky zkoušek malty je třeba brát pouze jako orientační, přesto poskytují o kvalitě pojiva v různých částech konstrukce poměrně solidní informace.

Pouze 3 zkušební tělesa pro stanovení pevnosti v tlaku a 1 pro stanovení dynamického modulu pružnosti byla získána z vývrtů V1 a V2 z klenby – viz obr. 67.



Obr. 67 Zkušební tělesa z malty z vývrtů V1 a V2.

Z vývrtů V5 a V6 bylo oproti tomu získáno 7 zkušebních těles pro stanovení pevnosti v tlaku – viz obr. 68 – 69.



Obr. 68 Zkušební tělesa z pojiva prokládaného betonu z vývrtu V5.



Obr. 69 Zkušební tělesa z pojiva prokládaného betonu z vývrtu V6.

1 zkušební těleso se podařilo získat i z vrstvy těsně za kamennou plentou z vývrtu V6 – viz obr. 70.



Obr. 70 Zkušební těleso z malty z přední části vývrtu V6.

Na 3 zkušebních tělesech, vyrobených z vývrtu V1, byla odzkoušena pevnost malty z klenby mostu, výsledky jsou uvedeny v tab. 32. Pro stanovení dynamického modulu pružnosti bylo získáno těleso z vývrtu V2, výsledky uvedeny v tab. 33. Hodnota dynamického modulu pružnosti okolo 3 GPa odpovídá hodnotě statického modulu kolem 1,5 GPa.

Tab. 32 Vyhodnocení pevnosti v tlaku malty – z vývrtů V1 a V2 z klenby

Vrt/vzorek	Šířka b [mm]	Délka l [mm]	Výška h [mm]	Hmotnost m _r [g]	Síla F [kN]	Objem.hm. D _r [kg/m ³]	Pevnost f _c [MPa]
M2-1	19,90	19,80	24,50	12,49	0,6	1294	1,5
M2-2	13,20	18,50	22,10	7,34	0,1	1360	0,4
M2-3	18,00	20,70	21,60	12,40	0,8	1541	2,1
Průměr						1 400	1,3

Tab. 33 Vyhodnocení dynamických modulů pružnosti malty - z klenby

Označení tělesa	Délka L [mm]	Doba průchodu impulsů UZ vln T _{uz} [μs]				Rychlost ultazvuku v _L m/s	Dynamický modul pružnosti E _{cu} Mpa
		"1"	"2"	"3"	Průměr		
M1	69,2	43,6	46,8	41,2	43,9	1580	3100

Malta z části vývrtu V6 těsně za kamennou plentou odpovídá svými vlastnostmi dřívější pevnostní třídě 1 MPa – viz tab. 32.

Tab. 34 Vyhodnocení pevnosti v tlaku malty – z přední části vývrtu V6

Vrt/vzorek	Šířka b [mm]	Délka l [mm]	Výška h [mm]	Hmotnost m _r [g]	Síla F [kN]	Objem.hm. D _r [kg/m ³]	Pevnost f _c [MPa]
M6	32,40	32,70	34,10	49,50	1,1	1370	1,0

V tab. 35 jsou uvedeny výsledky zkoušek pevnosti v tlaku pojiva prokládaného betonu z vývrtů V5 a V6. Toto pojivo má výrazně vyšší pevnost než malta použitá v kamenné rovině ze starších zdí (vývrtů V3 a V4), nedosahuje však kvality betonu v dnešním slova smyslu. Průměrná pevnost v tlaku kolem 5 MPa a především soudržnost vývrtů přesto ukazuje, že tato část skladby stěn je poměrně stabilní.

Tab. 35 Vyhodnocení pevnosti v tlaku pojiva prokládaného betonu – z vývrtů V5 a V6

Vrt/vzorek	Šířka b [mm]	Délka l [mm]	Výška h [mm]	Hmotnost m _r [g]	Síla F [kN]	Objem.hm. D _r [kg/m ³]	Pevnost f _c [MPa]
V5-1	27,80	28,50	44,20	69,86	1,7	1995	2,1
V5-2	29,20	28,40	31,00	54,17	6,6	2107	8,0
V5-3	25,50	29,00	29,20	42,36	7,4	1962	10,0
Průměr						2 020	6,7
V6-1	34,10	36,50	41,60	90,98	5,4	1757	4,3
V6-2	28,60	38,70	40,60	78,70	4,8	1751	4,3
V6-3	33,70	33,60	37,50	74,44	4,3	1753	3,8
V6-4	32,60	34,40	38,00	83,16	8,1	1951	7,2
Průměr						1 800	4,9

9. CHARAKTERISTICKÁ A NÁVRHOVÁ PEVNOST V TLAKU ZDIVA KLENBY MOSTU

Charakteristická pevnost zdiva se určí na základě vztahu uvedeného v kapitole 2.4.1.

Vzhledem k zohlednění počtu zkušebních těles byla hodnota průměrné pevnosti v tlaku zdících prvků klenby brána jako $f_b = 14,0$ MPa a průměrná pevnost v tlaku malty $f_m = 1,0$ MPa. Charakteristická pevnost v tlaku zdiva klenby mostu pak vychází následovně: $f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta = 0,55 * 14,0^{0,7} * 1,0^{0,3} = 3,48 \text{ N/mm}^2$

Návrhová pevnost zdiva se určí na podle postupu uvedeném v kapitole 2.4.2. Reálný ukazatel změknutí u cihel z klenby byl určen jako výrazně vyšší, než by odpovídalo maximální hodnotě součinitele γ_{m3} . Proto byla ve výpočtu návrhové pevnosti použita hodnota $\gamma_{m3} = 1,46$ (na stranu bezpečnou) a to i proto, že po dešti je klenba nasycena vodou. Součinitel vazby γ_{m2} byl brán jako průměrný v hodnotě rovné 1,0. Součinitelem γ_{m4} v hodnotě 1,10 byl zohledněn vliv podélných trhlin na krajích klenby.

Návrhová pevnost potom vychází následovně:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{3,48}{2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,46 \cdot 1,1} = 1,08 \text{ N / mm}^2$$

10. SHRnutí

Cílem průzkumu bylo stanovit vlastnosti cihel a malty v hradebních stěnách příkopu na hradě Špilberk. Průzkum obnášel nedestruktivní zkoušky cihel a malty plent, 50 zkušebních míst pro cihly a 18 zkušebních míst pro malty. Ověření skladby zdiva plent a klenby mostu bylo provedeno na 6-ti jádrových vývrtech, z kterých byla vyřezána zkušební tělesa pro stanovení objemové hmotnosti a pevnosti v tlaku.

Cihlám v plentách byly dle ČSN EN 771 – 1 přiřazeny tyto pevnostní značky:

Typ	Charakteristika	$f_{b,u}$	Pevnostní značka
Cihly A	metrické strojně vyráběné	23,9	20
Cihly B	cihly s výrazně žlutou barvou střepu	16,3	15
Cihly C	všechny starší typy cihel s oranžovou až červenou barvou střepu	13,7	10
Cihly D	směs různých typů cihel v konstrukci pilíře spojovacího mostu	14,1	10
Cihly E	cihly s extrémně tmavou barvou střepu	-	25

Zdicí malta v plentách byla vždy až pod vrstvou spárovacích malt, které zasahovaly do hloubky 10 až 30 mm. Spárovací malty byly před provedením zkoušek vrtnou metodou odstraněny. Bylo zjištěno, že pevnost malty kolísá od téměř nulové

hodnoty po přibližně 1 MPa a to ve všech stěnách hradního příkopu. Výpočtem byla zjištěna průměrná pevnost malty $f_m=0,43$ MPa.

Mezi spárovacími maltami byla zjištěna značná rozdílnost. Cementová spárovací malta, která byla použita při starších opravách, má výrazně vysokou pevnost v tlaku i modul pružnosti – pevnost v tlaku zjištěna orientačně na tělesech je 85 MPa a odhad statického modulu je 30 GPa. Tato malta je nepoddajná a je příčinou poruch povrchu cihelné plenty, tudíž by měla být odstraněna, pak je ale nutné počítat s tím, že v těchto místech narušené cihly odpadnou. Novější spárovací malta, která má hrubší zrnitost a obsahuje antuku, má pevnost v tlaku v průměru 3,8 MPa a statický modul pružnosti odhadem 4 až 5 GPa, což je optimální z hlediska odolnosti proti vlivům prostředí a změnám teploty.

Z jádrových vývrtů V1 a V2 bylo hodnoceno zdivo klenby mostu. Vývrty byly vedeny šikmo nahoru v obnažených částech klenby. Vzhledem k tomu, že v době průzkumu byl celý dolní povrch klenby zakryt výdřevou, nebylo možné stanovit, kolik procent povrchu bylo opraveno nevhodným způsobem – plombováním pomocí pásků cihel. Díky vývrtům byla ověřena skladba klenby. Klenba má tloušťku 600 mm, nad ní je částečně zpevněná vrstva směsi cihel a malty, 300 mm nad klenbou se nachází vrstva hlíny, do které prorůstá kořenový systém okolní vegetace.

Cihly z klenby jsou vcelku slušné kvality. Průměrná pevnost v tlaku přepočtená na celé prvky je 19,8 MPa ve stavu vysušeném a 13,1 MPa ve stavu nasyceném. Ukazatel změknutí těchto cihel je 0,68, což vypovídá buď o nižší teplotě výpalu, nebo o degradaci zdících prvků. Kvalita malty v klenbě byla zjištěna jako lepší než kvalita zdící malty v plentách. Pro výpočet byla brána průměrná pevnost v tlaku malty $f_m = 1,0$ MPa. Z této průměrné pevnosti malty a z průměrné normalizované pevnosti v tlaku cihel (uvažovaná v hodnotě $f_b = 14,0$ MPa po statistické úpravě) byla dále po zohlednění součinitelů spolehlivosti vypočítána návrhová pevnost zdiva klenby mostu $f_d = 1,08$ MPa.

Vývrty V3 a V4 byla ověřena skladba zdiva východní stěny. Z obou vývrtů bylo zjištěno, že za povrchovou plentou z cihel se nachází směs kamenů a cihel spojených nepřilíživou maltou. Jedná se nejspíš o rovinaninu prolévanou maltou. Pevnost malty nebylo možno stanovit na tělesech, proto byla stanovena odhadem v hodnotě 0,4 MPa.

Vývrty V5 a V6 byly provedena v jižní stěně, v místě kamenné plenty pod zděnými klenbami uloženými na kamenných konzolách. Mezi kameny plenty byla zjištěna cementová malta o vysoké pevnosti v tlaku (27,3 až 39,1 MPa). V úrovni zhruba 1 m nad terénem (vývrt V6) za kamennou plentou byla zjištěna krátká mezivrstva kamenů zděných na maltu s pevností okolo 1 MPa. Od hloubky 140 mm se pak nachází kompaktní beton prokládaný kameny, pevnost pojiva je z dnešního hlediska nízká (průměrně 4,9 MPa). V dolní části stěny je tedy problematická mezivrstva nacházející se těsně za kamennou plentou. Skladba plenty v horní části zdiva byla zjištěna z vývrtu V5. Plenta v těchto částech stěny je ze smíšeného zdiva, kde převažují cihly, povrchová vrstva ovšem do hloubky 180 mm už odpadla. Dále se nachází zhruba 200 mm cihelného zdiva na maltu o nízké pevnosti, odhadem 0,4 MPa. Dále byl stejně jako ve spodní části stěny zjištěn kompaktní beton prokládaný kameny, s pevností pojiva v průměru 6,7 MPa. V horní části je tedy problematická vrstva zdiva v hloubce 0 až 400 mm, dále je materiál kompaktní.

Byla provedena i sekaná sonda, vedle vývrtu V5, aby se ověřila hloubka uložení kamenné konzoly pod klenbou, ale v hloubce okolo 400 mm od neporušeného líce stěny, byl zjištěn beton, lepší kvality na v místě vývrtu V5, a od hlubšího sondování tedy bylo upuštěno.

Většina zjištěných problémů zdiva tedy souvisí s pronikáním vlhkosti za líc zdiva a s nevhodnými opravami v minulosti.

Pozn.: Fotodokumentace průzkumu provedena Ing. Petrem Cikrlem, Ph.D..

II. NÁVRH ZAJIŠTĚNÍ

11. PRŮZKUM STAVU ZKOUMANÝCH KONSTRUKCÍ

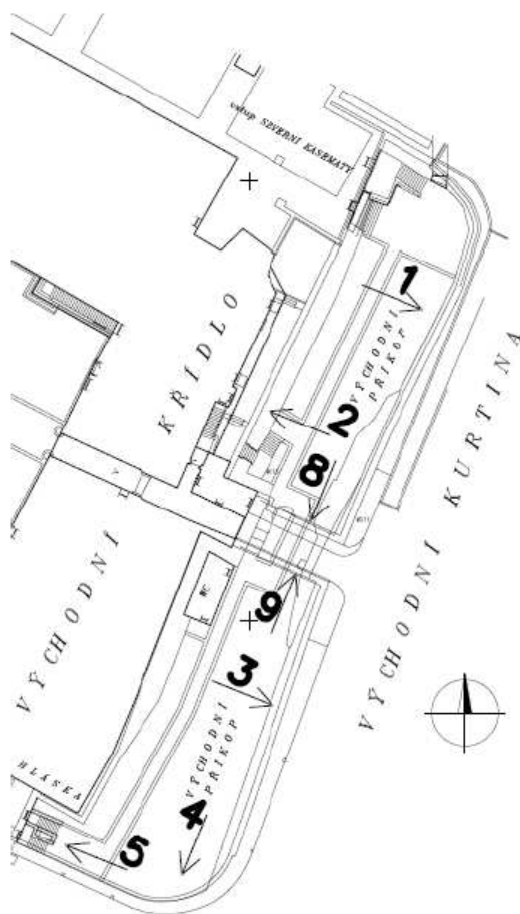
Na základě akustického průzkumu, který byl proveden za pomoci horolezců, byly rozeznávány tři druhy odezvy. První odezva měla ostrý zvuk a v těchto místech bylo zdivo zařazeno jako neporušené. Další dvě odezvy měly zvuk dutý a na jejich základě byly rozlišeny poruchy zdiva 1 a 2. Porucha zdiva 1 značí počáteční vznik poruchy. Porucha zdiva 2 značí předpoklad hluboké kaverny za plentou. Záznamy z akustického měření jsou uvedeny v Příloze 2.

12. VYHODNOCENÍ STAVU ZKOUMANÝCH KONSTRUKCÍ

12.1. PORUCHY HRADEBNÍCH PLENT

První příčinou porušení zdiva plent je zatékání vody skrz nefunkční hydroizolaci v konstrukci vozovky a komunikaci, která je umístěná na koruně hradeb. Ve vrchní úrovni zděných plent jsou zřejmé poruchy právě z tohoto důvodu. V nižších místech plent pak byla zjištěna akustickým průzkumem dutá místa, které mají za následek počáteční odpadávání a vyklánění konstrukce plenty. Tato dutá místa vytváří drenážní vrstvy, které soustřeďují zateklou vodu z koruny hradeb a ta díky působení klimatických změn negativně působí na stav zděných plent.

Další příčina, která má za následek porušení zděných plent je jejich dřívější oprava, kdy stávající zdivo bylo znovu vyspárováno novou cementovou maltou. Složení této malty ovšem nebylo optimální a z důvodů teplotních změn došlo k jejímu rozpínání, tudíž k následnému porušování cihelného zdiva plent.



Obr. 71 Schéma Východního příkopu – označení pohledů.

Pohled 1

Vzhledem ke špatnému stavu byl začátek této stěny v době průzkumu provizorně podepřen dřevěnou konstrukcí. Počítá se tedy s celkovou rekonstrukcí této části.

Zdivo na zbytku stěny bylo z větší části neporušeno. Pouze lokálně se zde vyskytovala porucha 2. V pásmu 1 – 2 m od vrcholu stěny se nacházela porucha 1. Cementová malta se v této stěně nacházela pouze v malé ploše.

Dále se v této stěně nacházelo velké množství kamenů s funkcí „vazáků“. Ty by měly být při rekonstrukci ve stěně ponechány, případně vráceny na původní místo se zachováním jejich funkce, pro zachování autentického vzhledu.

Pohled 2

Na této stěně bylo patrných několik etap oprav, mezi kterými se nacházely trhliny a dutá místa poruchy 2. Nacházelo se zde nejvíce míst s cementovou maltou, která měla za následek rozrušování zdiva.

Pohled 3

Z výsledků akustické zkoušky byl tento pohled určen jako stěna s největším podílem neporušeného zdiva, které se nacházelo zhruba do 4 metrů nad terénem. Poruchy 1 a 2 se vyskytovaly nejvíce v pásmu 1 – 2 m od koruny stěny a horší vlastnosti vykazovalo zdivo také v pruhu 4 m od koruny stěny.

Pohled 4

Tato stěna s kamennou plentou byla v době průzkumu zajištěna dřevěnou výdřevou a počítá se s její celkovou rekonstrukcí.

Pohled 5

Zdivo na této stěně je z větší části neporušené. Ve zbytku části se objevovala porucha 1 a pouze lokálně porucha 2.

12.2. PORUCHY MOSTU PŘES VÝCHODNÍ PŘÍKOP

Pohled 8

V tomto pohledu na most se nachází nejvíce porucha 1. Pouze málo zdiva je touto poruchou nenarušeno. Dále zde bylo zjištěno místo s použitím cementové

malty. Z důvodu dřevěné konstrukce, kterou byla v době průzkumu klenba zajištěna, nebylo možné ji zespodu prozkoumat.

Pohled 9

Největší zastoupení v tomto pohledu má porucha 1. Klenba a především pilíř jsou značně nasyceny vodou, což je patrné už na pohled. V některých místech zde byla zjištěna i dutina za lící vrstvou, hlavně v místech, kde může docházet k akumulaci vody v konstrukci mostu.

12.3. VYHODNOCENÍ AKUSTICKÉHO MĚŘENÍ

	Pohled 1		Pohled 2		Pohled 3		Pohled 5		Pohled 8		Pohled 9		Celkem
	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	
Porucha 1	71	20	116	46	53	21	18	39	48	76	24	62	330
Porucha 2	24	7	39	16	47	18	1	2	4	7	6	16	121
Neporušené zdivo	117	32	95	38	155	61	28	60	11	17	8	22	414
Podchycené zdivo	88	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88
Skála	61	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61
Celkem	361	100	250	100	255	100	47	101	63	100	38	100	1014

	Pohled 1		Pohled 2		Pohled 3		Pohled 5		Pohled 8		Pohled 9		Celkem
	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	
Cementová malta	2,8	1	93	37	0	0	0	0	4,7	7	0	0	100,5
Porušené cihly	90	ks	215	ks	75	ks	15	ks	50	ks	60	ks	505

13. OPRAVA ZDĚNÝCH PLENT

Oprava zděných plent vychází ze zjištění průzkumu. Mezi zděnými plentami a jádrovým zdivem plenty se nachází špatně soudržná vrstva prolévané rovinaniny původní hradby degradované působením zatékající vody. Díky tomu dochází ke ztrátě kontaktu plenty s původním zdivem hradby a rozrušování pojiva plent. Vlivem štíhlosti a působení vlastní tíhy zdiva pak dochází k lokálnímu boulení atd. Od určitého stupně

degradace kontaktu plenty a hradby pak efekt vyboulení od tíhy vyšších vrstev plenty postupuje bez dalšího vlivu degradace způsobené zatékající vodou.

Ve větší hloubce je zdivo plent víceméně soudržné a díky tomu je možné případné kotvení.

Vzhledem k tomu, že jsou tyto plenty součástí historicky důležité památky, je obecnou zásadou zachování původního vzhledu a vazby zdiva.

Pro odvodnění byly navrženy odvodňovací vrty o průměru 72 mm a délce cca 2,5 m ve vzájemné rozteči cca 3 m. Jedná se o drenážní trubku, která je obalená geotextilií. Odvodňovací trubka bude ukončena cca 100 mm od líce stěny, tak aby bylo vyústění skryto v konstrukci plenty. Otvor se upraví vlepením odřezků cihel do spádu pro vytvoření spádnice min. 2 %, směrem od otvoru.

Kvůli odvodnění jsou dále navrženy odvodňovací kanálky, které budou náhodně rozmístěny a to v místech, kde se bude plenta přezdívat (oprava 2 a oprava 3, viz níže). Odvodňovací kanálky by měly dosahovat do hloubky nově přizdívané plenty. Toto řešení již bylo použito při obnově plent dříve. V místech, kde se shromažďuje voda díky netěsnící hydroizolaci komunikace je navržena první vrstva kanálků. Úprava otvoru proti zatékání vody se provede obdobně jak u odvodňovacích vrtů – pomocí vlepených odřezků cihel do spádu pro vytvoření spádnice min. 2 %, směrem od otvoru.

13.1. ZPŮSOBY OPRAVY

Způsoby opravy byly zvoleny tři a to podle způsobu narušení zděných plent.

Oprava 1

Tato oprava byla navržena u méně narušených plent a jedná se o dokotvení pro zvýšení jejich odolnosti a životnosti. Dokotvení konstrukce plenty se provede pomocí vlepených kotev typu 1 (cca 4 ks/m²) navrtanými do spáry zdiva do hloubky 600 mm. Z důvodu zakrytí výztuže maltou v pohledu stěny je navrženo ukončení kotev cca 30 mm pod povrchem plenty. V místech této opravy je dále nutné, aby nevhodná cementová malta, kterou byly spáry přespárovány, byla odstraněna a nahrazena vápenocementovou maltou vhodné receptury.

Oprava 2

Jedná se o lokální přezdění míst, které jsou více poškozené a kde se nachází kaverna mezi plentou a hradebním zdivem a může nastat vyboulení části plenty.

Provedení opravy by se mělo uskutečnit po ucelených oblastech o velikosti maximálně cca 5m² ve dvou fázích. Nejdříve je potřeba pomocí vlepených nerezových trnů (kotva typu 1) ukotvit plentu nad a pod prostorem určeným k vybourání. Vzájemná vzdálenost trnů je navržena cca 300 mm. V druhé fázi se provede odbourání a přezdění plenty v dané oblasti. Prostor mezi plentou a případné kaverny se vyplní zdící maltou vhodné receptury.

Oprava 3

Jedná se o výraznější opravu, která spočívá v kompletním přezdění plenty, příp. rozsáhlejších oblastí v patě původní klenby. Kvůli zvýšení životnosti a odolnosti plenty je navrženo převázání s příčnými výztužnými žebry hradby (tato žebra nebyla samotným průzkumem zjištěna, vychází se z informace památkového dohledu). Pokud tato žebra nebudou objevena, je navrženo jejich vytvoření z rubové strany nově přezděné plenty. V případě přezdění ucelených oblastí v patě plenty, ovšem ne na celou výšku, je oprava 3 navržena tak, aby bylo možné při pozdějších obnovách ostatních částí plenty navázat na tato již zbudovaná žebra.

Dále jsou navržena podélná žebra pro ztužení. Vzhledem k štíhlostnímu poměru, který by podle normy ČSN EN 1996 – 1 – 1 neměl převyšovat hodnotu 27 a tloušťce nově přezděné plenty 150 mm je vzdálenost těchto podélných žeber navržena v hodnotě 4m.

Hloubkové kotvení žeber po výšce má být provedeno po cca 1 m a to do pevnější struktury hradby kotvou typu 2 do hloubky 1,2 m.

Část plenty, která má být ponechána nad bouranou oblastí musí být nejdříve ukotvena pomocí vlepených nerezových trnů (kotva typu 1) ve vzájemných vzdálenostech cca 300 mm. Poté se odbourá a přezdí plenta.

14. OPRAVA KAMENNÉ PLENTY

Vzhledem ke špatnému stavu kamenné plenty je navrženo její kompletní přezdění a ukotvení pomocí kotev typu 1 v množství 4 ks/m², které mají být umístěny ve spáře kamenného zdiva a zahnuty. Kamenná plenta má být vyzděna cementovou maltou, zděná část ve zhlaví plenty na maltu vápenocementovou. Pro přezdění je navrženo použít stávající kusové stavivo. Kameny pod stávající plentou pod vybouráním je nutno očistit od zbytků stávající cementové malty. Aby nedošlo

k novému vytvoření drenážní vrstvy je nutné prostor mezi lící kotvenou kamennou vrstvou a betonovou vrstvou hradby vyplnit kvalitní cementovou maltou prokládanou úlomky kamenů.

V patě klenby jsou navrženy odvodňovací vrty o délce cca 2,5 m, pro dosažení konce betonové vrstvy. Dále jsou navrženy po výšce a ve zhlaví plenty odvodňovací kanálky ve zděné části plenty.

15. OPRAVA MOSTU

Kvůli zatékání vody do konstrukce mostu je potřeba provést novou izolaci v konstrukci vozovky nad klenbou a odvodnit patu klenby.

Pro zjištění výškové úrovně koruny pilíře je nutné provést dvě kopané sondy v patě klenby a následně na tuto výšku upravit vyústění odvodňovacích vrtů. Odvodnění klenby je řešeno čtyřmi dodatečně vrtanými odvodňovacími otvory o průměru 75 mm a délce cca 0,8 m. Do těchto otvorů se nasadí PVC trubka a její konec se obalí geotextíli. Vyústění bude ukončeno cca 150 mm za lícem klenby a upraveno ohraničením cihlami, aby nebylo patrné v pohledové ploše.

Dále je navržena oprava spodního povrchu klenby, který je poškozen do hloubky cca 100 mm vlivem působení vody a mrazu. Oprava má být provedena vložením kotvené „plomby“ (vyzdívky) ze starých cihel.

15.1. POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI KLENBY MOSTU

Posouzení únosnosti bylo provedeno u klenby podepřené dřevěnou konstrukcí a to ve dvou průřezích – v patě a ve vrcholu klenby. Posouzení bylo provedeno podle zásad ČSN EN 1996 – 1 – 1.

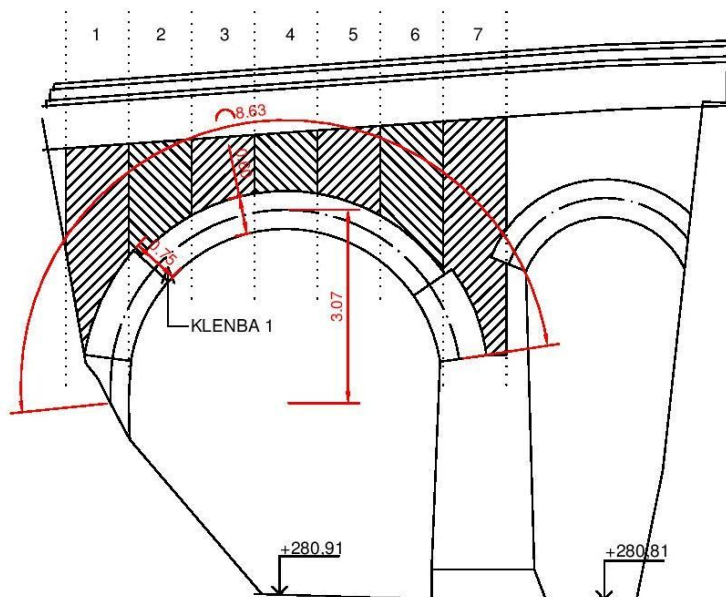
Nejdříve bylo určeno zatížení (od vlastní tíhy, od zeminy a od užitého zatížení). Rovnoměrné užité zatížení klenby bylo nahrazeno zvýšením násypu. Následně bylo celkové zatížení klenby nahrazeno soustavou osamělých břemen. Pro toto nahrazení byla klenba rozdělena na zatěžovací pruhy o šířce 1 m. Velikosti sil se rovnají zatěžovací ploše vynásobené měrnou tíhou násypu a zdiva. Dále na základě podmínky rovnováhy byla určena horizontální a následně podporová reakce pro posouzení únosnosti klenby. [15]

Předpoklady výpočtu

Vzhledem k tomu, že nebyla provedena průzkumná sonda do konstrukce mostu, bylo pro výpočet předpokládáno vyplnění zeminou o objemové hmotnosti 1800 kg/m^3 . Užité zatížení bylo uvažováno pouze od pojezdu lehkými osobními vozidly.

Hodnota charakteristické a návrhové pevnosti v tlaku byla vypočtena v kapitole 9.

Rozměry klenby



Zatížení

VLASTNÍ TÍHA									
Zatěžovací pruh			1	2	3	4	5	6	7
Tloušťka klenby	t	m	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675	0,675
Zatěžovací šířka	b	m	1	1	1	1	1	1	1
Objemová tíha	γ_z	kN/m^3	19	19	19	19	19	19	19
Síla od vlastní tíhy	F_{k0}	kN	12,83	12,83	12,83	12,83	12,83	12,83	12,83
Návrhová hodnota	F_{d0}	kN	17,31	17,31	17,31	17,31	17,31	17,31	17,31

NÁSYP									
Zatěžovací pruh			1	2	3	4	5	6	7
Plocha	A	m ²	2,386	1,524	1,042	0,944	1,184	1,842	3,032
Zatěžovací šířka	b	m	1	1	1	1	1	1	1
Přetížení zeminou	γ_k	kN/m ³	18	18	18	18	18	18	18
Svislá síla	F _{kl}	kN	42,95	27,43	18,76	16,99	21,31	33,16	54,58
Návrhová hodnota	F _{dl}	kN	57,98	37,03	25,32	22,94	28,77	44,76	73,68

UŽITNÉ ZATÍŽENÍ									
Zatěžovací pruh			1	2	3	4	5	6	7
Proměnné zatížení	q _k	m	5	5	5	5	5	5	5
Zvýšení násypu	h	m	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Zatěžovací šířka	b	m	1	1	1	1	1	1	1
Přetížení zeminou	γ_z	kN/m ³	18	18	18	18	18	18	18
Síla od užitého zatížení	F _{qk}	kN	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Návrhová hodnota	F _{qd}	kN	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50

Výsledné síly

Zatěžovací pruh			1	2	3	4	5	6	7
Výsledné síly	F	kN	82,79	61,85	50,13	47,75	53,58	69,57	98,49
Vzdálenost sil	x	m	0,14	0,77	1,77	2,77	3,77	4,77	5,77
Horizontální síla	H	kN	3,72	15,39	28,65	42,69	65,19	107,09	183,37
			$H = \sum(\sum F_i \cdot x_i) / h =$				446,11	kN	
Reakce	R _a	kN	$R_a = (H^2 + \sum F^2)^{0,5} =$				643,8	kN	

Posouzení

Charakteristická pevnost zdiva	f_k	3,48	MPa
Návrhová pevnost zdiva	f_d	1,08	MPa
Délka klenba	S	8,63	m
Tloušťka klenby	t	0,675	m
Účinná výška h_{ef}	$h_{ef} = S = 8,63$	8,63	m
Účinná tloušťka t_{ef}	$t_{ef} = t$	0,675	m
Podmínka pro MSÚ:	$N_{Rd} > N_{Ed}$		

<u>Únosnost v patě klenby</u>			
Návrhová únosnost:	$N_{Rd} = \Phi_i * A * f_d = 0,90 * 0,675 * 1,08$	655,56	kN
Zmenšující součinitel:	$\Phi_i = 1 - 2 * (e_i/t) = 1 - 2 * (0,034/0,675)$	0,90	
Výstřednost normálové síly v patě klenby:	$e_i = h_{ef}/t = 8,63/450$	0,019	
Podmínka:	$e_i \geq 0,05t = 0,019 \geq 0,034 \Rightarrow$	0,034	
Posouzení	$N_{Rd} > N_{ed} = 655,56 > 643,8$	VYHOVUJE	

<u>Únosnost ve vrcholu klenby</u>			
Návrhová únosnost:	$N_{Rd} = \Phi_m * A * f_d = 0,82 * 0,675 * 1,08$	546,75	kN
Zmenšující součinitel:	$\Phi_m = A_1 * e^{(-u/2)}$	0,75	
A_1	$A_1 = 1 - 2 * (e_{mk}/t) = 1 - 2 * (0,034/0,675)$	0,90	
u	$u = (\lambda - 0,063)/(0,73 - 1,17 * (e_{mk}/t)) = (0,36 - 0,063)/(0,73 - 1,17 * (0,034/0,675))$	0,60	
λ	$\lambda = (h_{ef}/t) * (f_k/E)^{0,5} = 0,013/(3,48/2610)^{0,5}$	0,47	
E	$E = K_E * f_k = 750 * 3,48$	2610	MPa
Výsledný výstřednost normálové síly působící ve vrcholu klenby:	$e_{mk} = e_m + e_k = 0,019 + 0$	0,019	
Výstřednost od účinků zatížení:	$e_m = h_{ef}/t = 8,63/450$	0,019	
Výstřednost od účinků dotvarování:	$e_k \Rightarrow h_{ef}/t < 15 \Rightarrow$ nedotvaruje	0,00	
Podmínka:	$e_{mk} \geq 0,05t = 0,029 \geq 0,034 \Rightarrow$	0,034	
Posouzení	$N_{Rd} > N_{ed} = 546,75 > 443,11$	VYHOVUJE	

Závěr

Daná klenba vyhovuje na posouzení únosnosti v patě a ve vrcholu, není tudíž potřeba navrhovat její statické zajištění.

ZÁVĚR

Předmětem této diplomové práce byl diagnostický průzkum, jehož cílem bylo stanovit vlastnosti cihel a malty stěn a spojovacího mostu ve Východním příkopu na hradě Špilberk.

Vlastnosti cihel a malty stěn příkopu a spojovacího mostu byly stanoveny na základě hodnot zjištěných z nedestruktivních zkoušek – Schmidt LB pro cihly a vrtná metoda „Kučerovy vrtačky“ pro malty, a ze zkoušek provedených na zkušebních tělesech vyrobených z jádrových vývrtů.

Pro cihly bylo vybráno 50 zkušebních míst, po 12 – ti u typů cihel A – D a orientačně 2 u typu E. Jednotlivým typům cihel pak byly přiřazeny pevnostní značky dle ČSN EN 771-1.

Průzkumem bylo dále zjištěno, že zdící malta se nacházela až pod vrstvou spárovací malty. Před provedením zkoušek vrtnou metodou musela být tato spárovací malta nejdříve odstraněna. Pro zkoušky vrtnou metodou bylo určeno celkem 18 zkušebních míst. Pevnost zdící malty se pohybovala v rozmezí téměř od nulové hodnoty po přibližně 1 MPa. Výpočtem pak byla zjištěna hodnota průměrné pevnosti malty v tlaku $f_m = 0,43$ MPa.

Cementová spárovací malta, která byla použita při dřívějších opravách, byla vzhledem k vysoké pevnosti v tlaku i modulu pružnosti shledána jako nevhodná, neboť je nepoddajná a tudíž zapříčiňuje poruchy povrchu cihelné plenty. Naopak novější spárovací malta s obsahem antuky byla vyhodnocena jako optimální z hlediska odolnosti proti vlivům prostředí a změnám teploty.

Dále bylo v rámci diagnostického průzkumu provedeno celkem 6 jádrových vývrtů. První dva sloužily pro vyhodnocení zdiva klenby mostu. Bylo zjištěno, že cihly jsou poměrně slušné kvality a že kvalita malty v klenbě je lepší, než jak je tomu i malty v plentách. Na základě zkoušek zkušebních těles vyrobených z těchto vývrtů byla poté spočítána charakteristická a návrhová pevnost v tlaku zdiva mostu – $f_k = 3,48$ Mpa a $f_d = 1,08$ MPa. Tyto hodnoty byly dále použity pro posouzení únosnosti klenby mostu. Další vývrty byly provedeny pro ověření skladby zdiva ve východní stěně příkopu. Výsledkem bylo zjištění, že za povrchovou plentou z cihel se nachází směs kamenů a cihel spojených maltou o ne příliš dobré kvalitě. Zbývající dva vývrty byly provedeny

v jižní kamenné stěně příkopu. Za kamennou plentou byla zjištěna mezivrstva kamenů zděných na maltu, dále pak kompaktní beton prokládaný kameny.

V další části diplomové práce byl řešen návrh opatření proti zjištěným poruchám ve hradebních stěnách a na spojovacím mostu. Působení zatékající vody z koruny hradeb bylo určeno jako první příčina degradace plent a proto byly ve spodní části plent navrženy odvodňovací vrty a v místech, kde se bude plenta přezdívat pak odvodňovací kanálky. Dalším problémem v konstrukcích je použití cementové malty s nevhodnou recepturou, díky kterému dochází k rozrušování zdiva plent. Je nutné, aby tato malta byla odstraněna a nahrazena maltou vápenocementovou vhodné receptury. Na jednotlivých stěnách a na mostu bylo provedeno akustické měření, na základě kterého byly určeny celkem dvě poruchy, pro které byly navrženy dále popsané opravy. První oprava se týká méně narušených míst a jde o jejich dokotvení pro zvýšení odolnosti a životnosti. V místech, která jsou porušena více a kde byla zjištěna kaverna mezi plentou a hradbou byla navržena oprava 2, která obnáší lokální přezdění těchto míst. Prostor za plentou a případné kaverny se mají vyplnit zdící maltou. Nakonec byla navržena oprava, která se týká stěn nebo jejich částí, jež jsou ve značně špatném stavu a v době průzkumu musely být zajištěny dřevěnou konstrukcí. Bylo navrženo jejich kompletní přezdění. Nová plenta má být ztužena žebry jak v příčném tak i podélném směru. V příkopu se nachází i kamenná stěna a vzhledem k jejímu špatnému stavu a zajištění dřevěnou konstrukcí je taktéž navrženo její přezdění. Pro poškozený povrch klenby mostu bylo navrženo vložení kotvené „plomby“. Odvodnění klenby má být řešeno pomocí čtyř odvodňovacích otvorů. Nakonec bylo provedeno posouzení únosnosti klenby mostu. Daná klenba vyhovuje na posouzení dle ČSN EN 1996-1-1 a proto nebylo nutné navrhovat její statické zajištění. Ovšem parametry zeminy, která vyplňuje konstrukci mostu, byly pouze odhadnuty, proto by bylo potřeba provést průzkumnou sondu, pro jejich upřesnění, aby byl posudek konkrétnější.

Navržená opatření ovšem řeší až důsledek zatékání vody do konstrukcí, je teda doporučeno, aby byla zároveň provedena i oprava hydroizolací v komunikaci a zamezilo se průsaku vody do hradebních plent a klenbového mostu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HOBST, Leonard a kol. *Diagnostika stavebních konstrukcí - přenášky*. Brno : Studijní opora VUT, 2005.
- [2] PUME, Dimitrij and ČERMÁK, František a kol. *Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí*. Praha : ABF, 1993.
- [3] ČSN ISO 13822 *Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha : Český normalizační institut, 2005.
- [4] ADÁMEK, Jiří a kol. *Stavební látky MODUL BI01-M04 Keramika, dřevo, kovy a sklo*. Brno : Studijní opora VUT, 2004. p. 16.
- [5] KOTLÍK, Petr a kol. *Stavební materiály historických objektů*. Praha : VŠCHT Praha, 2007. ISBN 978-80-7080-347-9.
- [6] BROUKALOVÁ, Iva and KOŠATKA, Pavel. *Navrhování zděných konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1996*. Praha : Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87438-02-2.
- [7] ČSN EN 772-1 *Zkušební metody pro zdící prvky - část 1: Stanovení pevnosti v tlaku*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [8] http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/ESF_C3_N%C2%A0vod.pdf. *Vývrty: Odběr, popis a zkoušení v tlaku*. [Online] [Cited: 11 6, 2013.]
- [9] http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/ESF_C4_N%C2%A0vod.pdf. *Zkoušení cihelného zdiva v konstrukci*. [Online] [Cited: 11 9, 2013.]
- [10] ČSN EN 1015-11 *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*. Praha : Český normalizační institut, 2000.
- [11] SITARČÍK, Rostislav. *Znovuzrození hradu: prezentační publikace stavební společnosti Tocháček s.r.o., Brno, vydaná u příležitosti dokončení stavební části východního křídla NKP hrad Špilberk*. Brno : Stavební společnost Tocháček, 2000.
- [12] VANĚK, Jiří. *Hrad Špilberk*. Brno : FOTEP, 2001. ISBN 80-902921-2-7.
- [13] http://www.spilberk.cz/soubory/Spilberk_situace_big.jpg. *Špilberk*. [Online] 2013. [Cited: prosinec 9, 2013.]
- [14] ČSN EN 771-1 *Specifikace zdících prvků - Část 1: Pálené zdící prvky*. Praha : Český normalizační institut, 2004.
- [15] MUK, Jiří. *Statika II*. Praha : Nakladatelství ČVUT , 2007.

[16] <http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI01/pojiva%20a%20malty2.pdf>. *STAVEBNÍ LÁTKY - Pojiva a malty II*. [Online] [Cited: 10 3, 2013.]

[17] *ČSN EN 1996-1-1 Navrhování zděných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Seznam není kompletní, některé zkratky či symboly byly vysvětleny v teoretické části této práce.

A	plocha
b	šířka
d	hloubka vrtu
d_m	průměrná hloubka vrtu
D_r	objemová hmotnost
E_{cu}	dynamický modul pružnosti
e_i	výstřednost normálové síly v patě klenby
e_k	výstřednost od účinků dotvarování
e_m	výslednost od účinků zatížení
e_{mk}	výslednost normálové síly působící ve vrcholu klenby
F	síla
f_b	návrhová pevnost zdiva
f_{b,e}	pevnost v tlaku cihel dle kalibračního vztahu
f_{b,u}	průměrná pevnost v tlaku kusového staviva
f_{d0}	návrhová hodnota síly od vlastní tíhy
f_{d1}	návrhová hodnota síly od přitížení zeminou
f_k	charakteristická pevnost zdiva
F_{k0}	síla od vlastní tíhy
F_{k1}	síla od přitížení zeminou
f_m	pevnost v tlaku malty
f_{m0}	pevnost v tlaku malty dle kalibračního vztahu
F_{qd}	návrhová hodnota síly od užitého zatížení
F_{qk}	síla od užitého zatížení
H	horizontální síla v klenbě
h	výška
h_{ef}	účinná výška
l	délka
m_r	hmotnost
m_x	průměr

n	počet vzorků
N_{Ed}	návrhová hodnota svislé normálové síly
N_{Rd}	návrhová únosnost v tlaku
Ø	průměr
q_k	užitné zatížení
R	upravený průměr
R_a	podporová reakce klenby
s	sekundy
S	délka klenby
STP	stavebně technický průzkum
s_x	směrodatná odchylka
t	tloušťka klenby
t_{ef}	účinná tloušťka
t_n	součinitel odhadu konfidenčního intervalu
V	jádrový vývrt
v_L	rychlost ultrazvuku
W	vlhkost hmotnostní
x	vzdálenost sil
α	součinitel upřesnění
γ_k	objemová tíha zeminy
γ_z	objemová tíha zdiva
δ	součinitel tvaru vyjadřující vliv rozměrů zkušebního vzorku
Φ_i	zmenšující součinitel v patě klenby
Φ_m	zmenšující součinitel ve vrcholu klenby

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Vyznačení míst odběrů a zkoušek

Příloha 2 Záznamy akustického měření

PŘÍLOHY

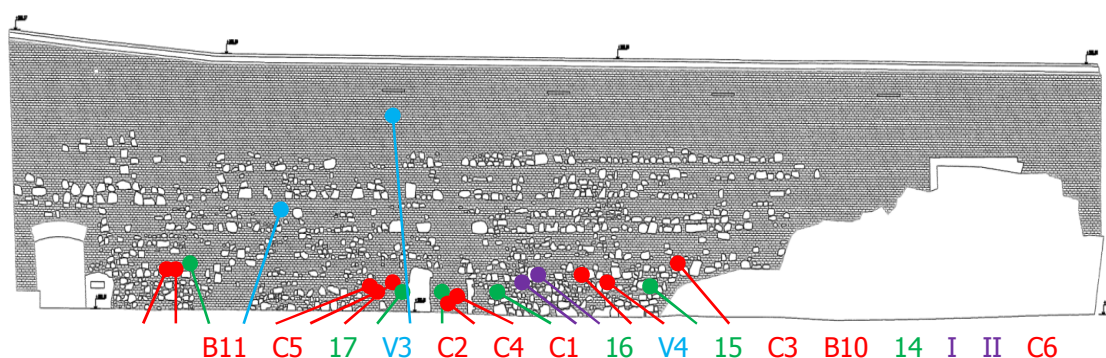
PŘÍLOHA 1 Vyznačení míst odběrů a zkoušek

Místa nedestruktivní kontroly cihel: A1-A12, B1-B12, C1-C12, D1-D12, E1-E2.

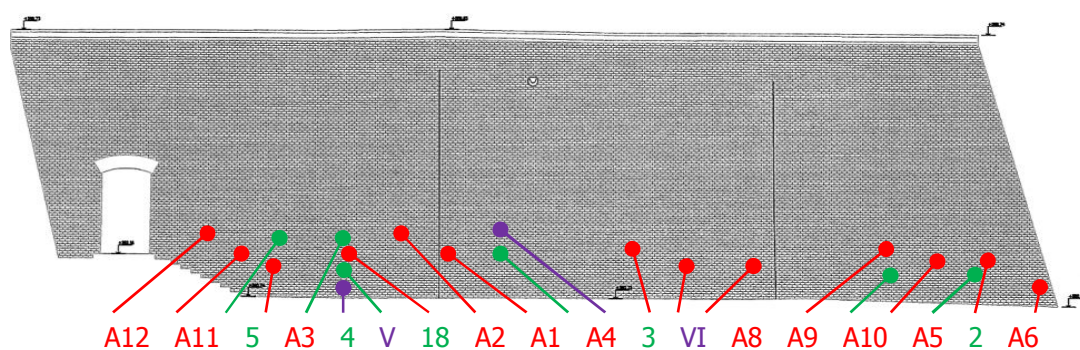
Místa nedestruktivní kontroly spojovací malty: 1-12.

Místa nedestruktivní kontroly spárovací malty: I-VII.

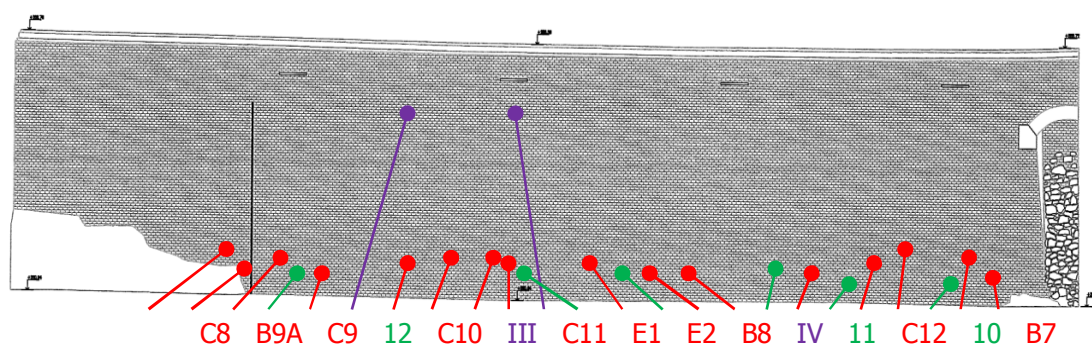
Místa jádrových vývrtů: V1-V6



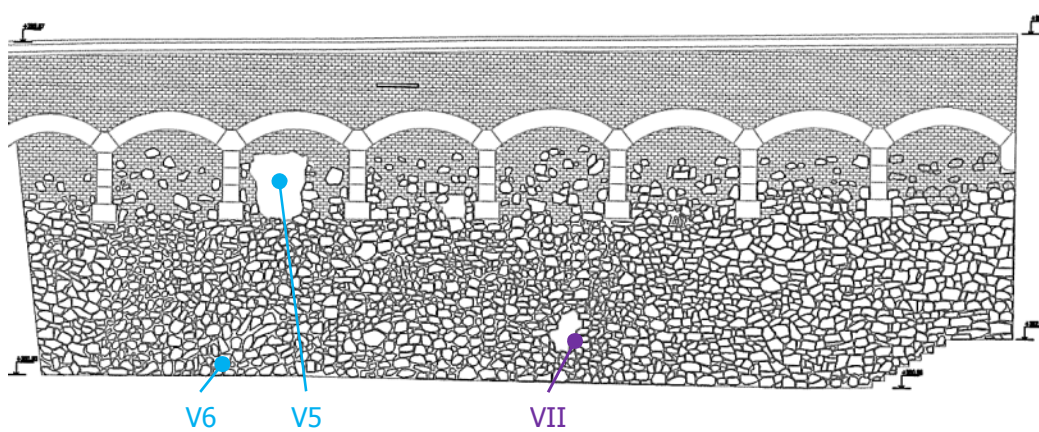
P1/Obr. 1 Pohled 1 – východní stěna příkopu mezi vstupem k pokladně a spojovacím mostem.



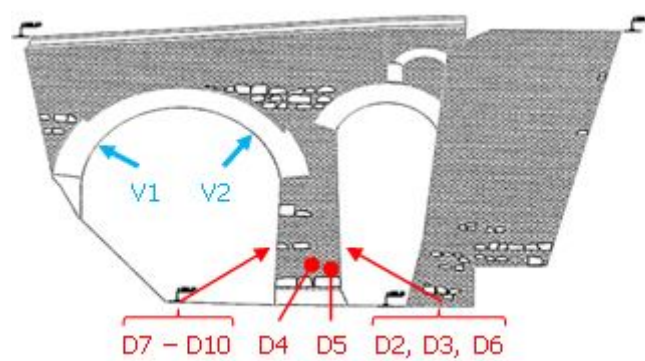
P1/Obr. 2 Pohled 2 – západní stěna příkopu mezi spojovacím mostem a vstupem do kasemat.



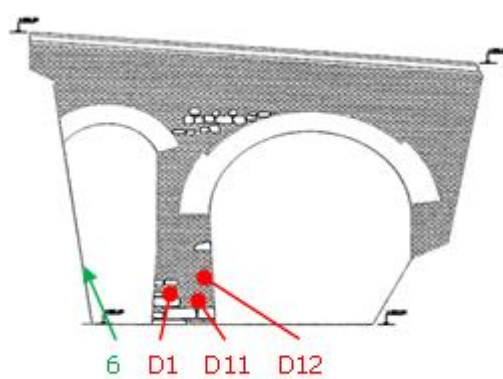
P1/Obr. 3 Pohled 3 – východní stěna příkopu mezi spojovacím mostem a kamennou plentou.



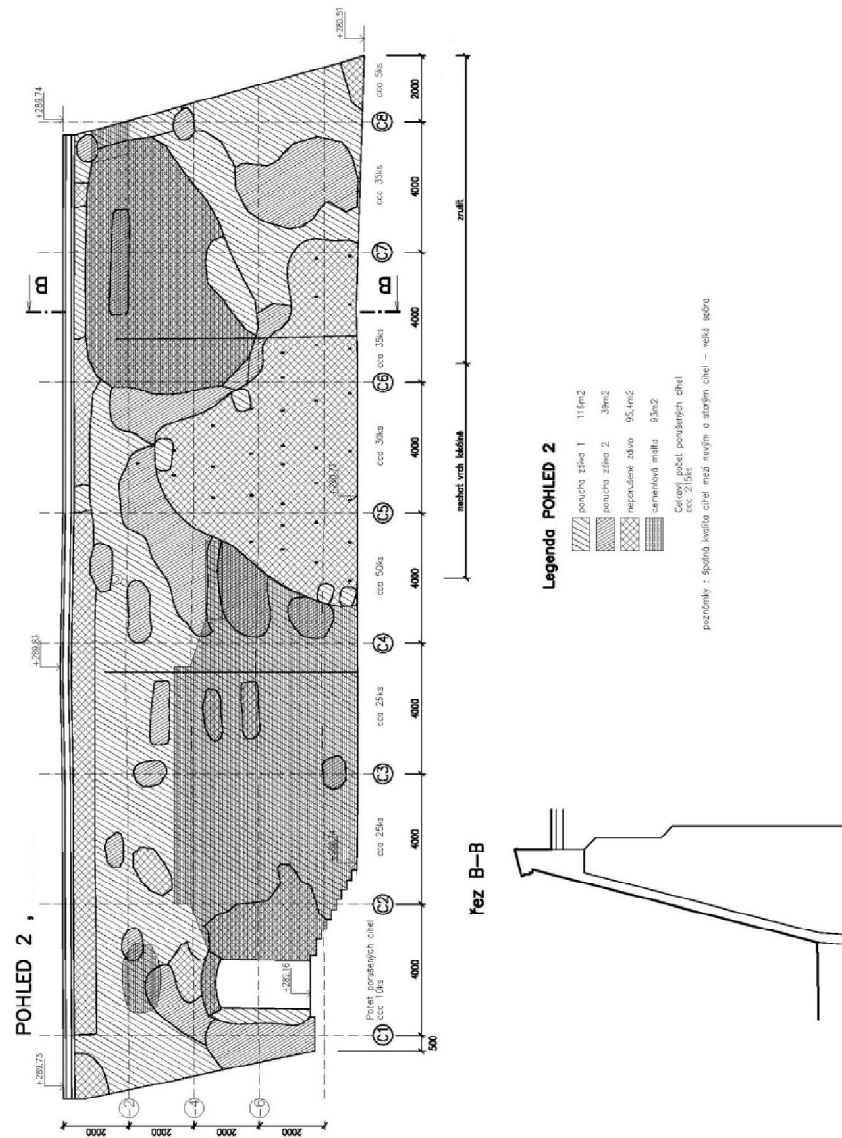
P1/Obr. 4 Pohled 4 – jižní stěna příkopu, kamenná plenta.



P1/Obr. 5 Pohled 8 – severní pohled na spojovací most.

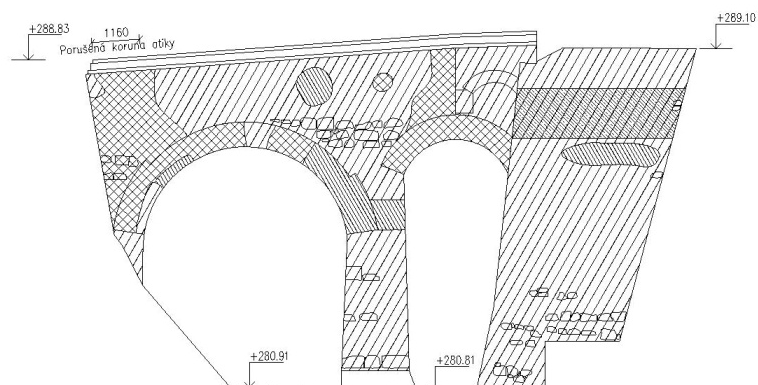


P1/Obr. 6 Pohled 9 – jižní pohled na spojovací most.



P2/Obr. 2 Záznam z akustického měření – pohled 2.

POHLED 8

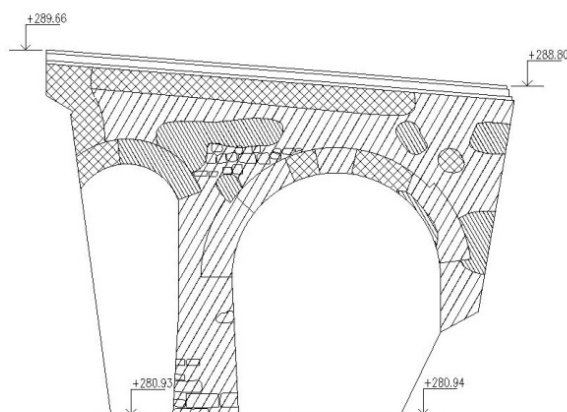


Legenda POHLED 8

	porucha zdiva 1	48,1m ²
	porucha zdiva 2	4,2m ²
	neporušené zdivo	10,6m ²
	cementová malta	4,7m ²
Celkový počet porušených cihel cca 50ks		

P2/Obr. 4 Záznam z akustického měření – pohled 8.

POHLED 9



Legenda POHLED 9

	porucha zdiva 1	23,5m ²
	porucha zdiva 2	5,9m ²
	neporušené zdivo	8,3m ²
Celkový počet porušených cihel cca 60ks		

P2/Obr. 5 Záznam z akustického měření – pohled 9.