



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

DIAGNOSTIKA HISTORICKÉHO ZDĚNÉHO OBJEKTU

DIAGNOSTICS OF HISTORIC MASONRY CONSTRUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zdeněk Grygar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Zdeněk Grygar
Název Diagnostika historického zděného objektu
Vedoucí práce Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
Datum zadání 30. 11. 2016
Datum odevzdání 26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

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



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

PODKLADY A LITERATURA

Schmid, P. a kol. Základy zkušebnictví, CERM, 2001

Anton, O. a kol. Základy zkušebnictví, Návody do cvičení, CERM, 2002

Pume, D., Čermák, F. a kol.: Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí, Praha, Arch, 1993

Pytlík, P.; Sokolář, R.: Stavební keramika, CERM, 2002

Příslušné normy ČSN a ČSN EN

Výběr separátů z databáze ÚSZK k danému tématu

Archiv historické literatury ÚSZK.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Úvod - stručný úvod do problematiky.

Teoretická část - rešerše doporučené literatury a vypracování podkladů pro řešení bakalářské práce.

Cíl práce - vypracovat přehled historického vývoje cihel a cihelného zdiva, včetně podrobné metodiky diagnostiky historických zděných konstrukcí.

Metodika řešení - na základě rešerší literatury a poskytnutých informací a studia sbírky historických cihel vypracujte detailní přehled vývoje cihel a cihelného zdiva a podrobnou metodiku diagnostiky historických konstrukcí z cihelného zdiva.

Praktická část - naplánovat a provést předběžný průzkum reálné zděné konstrukce

Závěr - proveďte krátké shrnutí a jasně a přehledně deklarujte výsledky bakalářské práce.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



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

Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o historii cihel, včetně vysvětlení technologie výroby. Dále se zabývá zkušebními metodami při diagnostice zděných konstrukcí a popisuje jejich provádění a vyhodnocení. V závěru práce je vysvětlena podstata návrhu charakteristické a návrhové pevnosti zdiva v tlaku. Výstupem je celkové shrnutí dané problematiky a ozkoušení jednotlivých zkušebních metod na reálné konstrukci.

Klíčová slova

historie cihel, výroba cihel, značkování, nedestruktivní zkoušení cihel, destruktivní zkoušení cihel, pevnost cihel v tlaku, charakteristická a návrhová pevnost zdiva

Abstrakt

Bachelor's thesis describes historical overview of progress of masonry elements, including their technology production. Define used methods of diagnostics masonry structures and characterizes their implementations and evaluations. The essence of designing characteristic and designing strength of masonry in compression is described in conclusion. As the result of this bachelor's thesis is summary up diagnostic problematics and try out diagnostics methods on real object.

Keywords

history of bricks, brick production, stamping, non-destructive methods, destructive methods, strength of masonry in compression, characteristic and designing strength of masonry in compression

Bibliografická citace VŠKP

Zdeněk Grygar *Diagnostika historického zděného objektu*. Brno, 2017.61s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14. 2. 2017

Zdeněk Grygar
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26.5. 2017

Zdeněk Grygar
autor práce

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Antonovi, Ph.D. a Ing. Věře Heřmánkové, Ph.D. za jejich vstřícný postoj, ochotu a cenné rady při tvorbě práce.

Obsah

1. ÚVOD	- 11 -
2. TEORETICKÁ ČÁST	- 12 -
2.1 Cihla z hlediska historického vývoje.....	- 12 -
2.1.1 Od středověku až po současnost	- 13 -
2.2 Technologie výroby cihel v minulosti.....	15
2.3 Technologie výroby cihel dnes.....	17
2.4 Typy cihel používané dnes.....	19
2.5 Malty pro zdění	20
2.6 Kolkování cihel (značení).....	21
2.7 Vazby zdiva	22
2.8 Vývoj rozměrů cihel	24
2.8.1 Vývoj rozměrů v Čechách.....	25
2.8.2 Vývoj rozměrů na Moravě	25
2.9 Stanovení pevnosti v tlaku zdících prvků	25
2.9.1 Pevnost v tlaku na vzorcích odebraných z konstrukce	25
2.9.2 Pevnost v tlaku na tělesech vyrobených z jádrových vývrtů	26
2.9.3 Pevnost v tlaku zjištěná nedestruktivně	27
2.9.3.1 Popis tvrdoměru a práce s ním	28
2.9.4 Pevnost v tlaku zjištěná semidestruktivně - metoda plochých lisů	30
2.10 Stanovení pevnosti v tlaku malty	31
2.10.1 Metody zjišťování pevnosti v tlaku malty ve spárách.....	31
2.10.2 Zkušební postup pro upravené vrtačky	32
2.10.3 Vyhodnocení zkoušky.....	33
2.11 Hodnocení existujících zděných konstrukcí.....	35
2.11.1 Charakteristická pevnost zdiva v tlaku	35
2.11.2 Návrhová pevnost zdiva v tlaku.....	35
3. PRAKTICKÁ ČÁST	37
3.1 Informace o objektu	37
3.2 Zaměření a průzkum objektu.....	40
3.3 Pasport původní části objektu	43
3.4 Odebrané vzorky cihel a malty	49
3.4.1 Zkoušky provedené in situ	52
3.5 Zkoušení odebraných vzorků cihel a malty.....	53

3.6 Zhodnocení stavu konstrukce.....	56
3.6.1 Stanovení charakteristické pevnosti zdiva v tlaku	56
3.6.2 Stanovení návrhové pevnosti zdiva v tlaku.....	56
3.7 Závěr praktické části.....	57
4. ZÁVĚR.....	58

1.ÚVOD

Objevení hlíny jako stavebního materiálu se stalo velkým průlomem ve stavebnictví. Dodnes můžeme po celém světě nalézat spousty historických zděných staveb, které si stále udržují svou původní podobu. Cihla jako stavební prvek je nejen dostatečně únosný, ale také snadno odolává zubu času. Prošla mnoha úpravami a splnila veškeré požadavky moderního stavebnictví. V dnešní době využíváme cihel tepelně-izolačních, zvukově-izolačních, lehčených a děrovaných. Spolu s vývojem cihel se také vyvíjela malta pro zdění, kterou v posledních letech substituuje pěna na zdění.

Vzhledem k rozšíření cihelných staveb, je zapotřebí umět tyto stavby posuzovat z hlediska bezpečnosti, konstrukčního uspořádání a statické stability, neboť řada z nich skrývá vady vzniklé špatnou technologií výstavby, chybným statickým výpočtem, či působením povětrnostních vlivů.

Cílem této práce je nabytí vědomostí potřebných k diagnostice reálného objektu a osvojit si používané metody v praxi. K tomu je potřeba znát i historický vývoj cihly jako takové, abychom dokázali charakterizovat nejen její původ, ale i znát její příběh.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Cihla z hlediska historického vývoje

První cihly byly objeveny v Asii mezi řekami Eufratem a Tigridem kolem roku 7500 př.n.l. Tyto nepálené cihly ručně vyráběli staří Sumerové z hlíny, uhnětené do kulatého tvaru bochníků, které byly na protilehlých stranách seříznuty. Na spodní straně byly tedy ploché a na horní zaoblené (tzv. plochovypuklé). V pozdějším období se jejich tvar změnil do podoby, jak je známe dnes, avšak jejich půdorysný tvar byl čtvercový, nikoli obdélníkový. Nicméně pro tehdejší stavby byly lépe využitelné a stabilnější. Tyto cihly byly dlouhodobě sušeny na denním slunci (až 2 roky) a až poté mohly být použity. Spojovali se hlínou nebo tehdejší formou asfaltu. První pálené cihly se objevují v době 3000 let př.n.l.

Egyptané vyráběli své cihly z bahna a slámy namáčením ve vodě, což způsobilo rozklad slámy, která vylučovala lepkavou buničinu a cihla tak nabyla na pevnosti a stala se únosnější.

I v Římě lze nalézt důkazy o nepálených cihlách, nicméně pálené byly vyráběny až v době císařství na počátku 1. století našeho letopočtu. Římané stavěli nejen zdi, podlahy ale i sloupy, pilíře, celé několikapatrové domy a v neposlední řadě také cihelné klenby. Římské legie s využitím mobilních pecí rozšířili cihlu jako stavební materiál do mnoha částí Římské říše. Tyto cihly jsou často označovány cejchem patřičné legie.

Ze starověké Číny existuje spis z dynastie Song v příručce Yingzao Fashi, ve kterém jsou sepsány pravidla a předpisy pro výrobu cihel, vydané císařskou kanceláří pro stavitele a řemeslníky. I zde bylo zvykem značení cihel vlastní značkou mistra za účelem zkvalitnění tohoto řemesla. Každý, kdo objevil špatný výrobek, jej mohl zpět vrátit výrobcí. [1]

2.1.1 Od středověku až po současnost

Ve 12. století došlo k masovému rozšíření cihel ze severní Itálie do severního Německa. Její používání vyvrcholilo v cihlové gotice, což je odnoš gotické architektury, která vzkvétala v severní Evropě a to především v oblastech s nedostatkem stavebního kamene. Stavby tohoto směru se nachází v Dánsku, Německu, Polsku, ale také v Rusku. I přes vynález strojního formování (J. Etherington, 1619) se cihly nadále vyráběli ručně. Normalizované cihly se navrhují v Německu až koncem 18. století. U nás měla tehdejší cihla rozměry 6,5x14x29cm, což skoro odpovídá těm dnešním.

Rychlejší rozvoj cihlářství na našem území začíná ve 12. století za vlády Vladislava II. Cihlářství k nám přichází dvěma směry, jednak z Francie a z Flander, nebo přes Porýní a Slezsko, dále pak z Lombardie a to zejména na Slovensko. Ve 13. století se k nám přes Slezsko dostává výroba masivních cihel, tzv. buchet. V městském prostředí byla již od počátku 15. století cihla obecně používanou stavebninou. Cihlářství bylo řemeslem svobodným, mohl jej provozovat každý, kdo přihlásil živnost a zaplatil daň. Cihláři se dělili na cihláře zdící, ti vyráběli cihly a cihláře krycí, kteří vyráběli střešní krytinu. Například v Chebu se připomínají v roce 1360 dvě cihelny, v Žatci v roce 1380 cihelna u Ohře.

Na našem území proběhl rozkvět nepálených cihel v 18. století v důsledku tereziánských stavebních a protipožárních nařízení. Jednalo se o cihly vyrobené z jílovité hlíny s příměsí plev a vepřových štětín (tzv. vepřovice) sušených na slunci. Vyráběli je hospodáři sami, nebo specializovaní cihláři. Právo vyrábět cihly přiznal poddaným dvorský dekret ze 4. února 1819. Nepálené cihly se vyskytují pod řadou lokálních označení (bačkora, bejk, buchta, vepřovice), v prostředí Jižní Moravy často zvané "kotovice", což je patrně zkomolenina z německého slova Kotziegel (volně přeloženo jako cihly z bláta). Pálená cihla byla na tehdejší poměry drahá a dostupná pouze pro majetné vrstvy obyvatelstva, které je používali do fasádních vrstev nebo nechráněných štítech domů. Na Moravě byl ruční cihlářský stroj vynalezen

Josefem Hardtmuthem na konci 18. století. První tvářecí stroje poháněné parou se začínají objevovat po polovině 19. století, například v roce 1855 patent Josefa Karlíčka a Josefa Martínka. Existovaly plné cihly různých rozměrů, avšak zásadní průlom nastal během průmyslové revoluce s objevem lehčené dutinové cihly roku 1813. Z důvodu potřeby manufaktur, ale také obytných budov byl také kladen důraz na rychlost výstavby a nižší pracnost. Lehčená cihla pálená je tedy zcela nutným krokem kupředu. Dutinové cihly využíváme dodnes, ať už přímo s dutinami, nebo plněně tepelně/zvukově izolačním materiálem. [1,2,3]

Bez konkurence! **Ruční pohon!**

Ruční stroj na cihly
patent Lehmann
se samočinným vyráž. přístrojem forem cihlových.
Výkon 700 až 1000 cihel za hodinu.
Výroba cihel na způsob výroby ruční.
Hodnotou předstihuje cihly strojové.
Prospekty zašlou na požádání bezplatně

BALÁZS & BRÓDY,
Budapešť VI., Gyár - utca 30.



Dobový reklamní plakát inzerující ruční stroj na cihly [Obr.1]

2.2 Technologie výroby cihel v minulosti

Cihly se odedávna vyráběly z jílovitě hlíny s nízkým obsahem vápníku a vápenatého písku, nejčastěji tzv. spráše. Tato světlá hlína se po smíšení s vodou změní na plastickou hmotu, do které je možné vtlačit čistý otisk ruky. Při výrobě se z hlíny nejprve odstraňovaly nečistoty, koříny či kameny. Po odležení se do hlíny přidávalo tzv. ostřivo. Jedná se o příměs, jejímž účelem bylo akumulovat teplo a rovnoměrně prohřívát objem cihly bez jejího popraskání. Nejčastějším ostřivem býval křemičitý písek, který při výpalu reaguje s přítomnými oxidy a vytváří tak hutný střep. Obvykle byl přimícháván do cihlářské hlíny v poměru 1:4.

Cihlářská směs byla důkladně do dřevěných forem, které se nejprve navlhčily a poté zaprášeny pískem. Nadbytečná směs byla při horním povrchu seříznuta, někdy uhlazována prsty tzv. prstování, což mělo za následek vytvoření určitých drážek potřebných pro lepší provázání zdiva. Poté se forma obrátila, směs vyklepla a přešlo se k další nedílné, poměrně zdlouhavé součásti a to bylo sušení na stinném, avšak dobře větraném místě po dobu až několika měsíců. [1,2,3]



Dřevěné formy pro ruční výrobu cihel



Ruční vkládání suroviny do formy (prstování)[Obr.2]

Jílová složka hlíny může být tvořena tzv. jílovými minerály ze skupiny kaolinitu, illitu a montmorillonitu. Tyto minerály mají schopnost bobtnání, čili přijímání vody do svých vrstevnatých struktur. Cihlářská hlína nasakuje vodu dvěma způsoby: mechanicky a chemicky. Při sušení se keramické výrobky zbavují mechanicky vázané vody a dochází ke smrštění (2-10 %). V sušených cihlách vznikají vnitřní napětí, která mohou zapříčinit vznik trhlin a prasklin. Je proto důležité regulovat proces sušení tak, aby se voda odstraňovala rovnoměrně. Chemicky vázaná voda se uvolňuje až při procesu pálení v rozmezí teplot 450 – 600 °C, kdy dochází k dalšímu smrštění v průměru o 3-8 %.

Cihly se do pece vkládaly na zděné lavice nebo perforovanou podlahu, aby na ně plameny nešlehaly přímo. V první fázi bylo hoření tlumené a z cihel se odpařovala vlhkost. Dým, který z pece vycházel, byl mastný a zapáchající. Toto dosoušení v peci trvalo většinou několik dní a nocí. Teprve když se dým změnil na suchý a v peci šlehaly bílé plameny, začal vlastní výpal. Byly otevřeny přívody vzduchu, teplota v peci se několik dní zvyšovala, až dosáhla 800-900 °C. V poslední fázi byly průduchy opět uzavřeny a proběhlo dopálení cihel. [1,3,4]

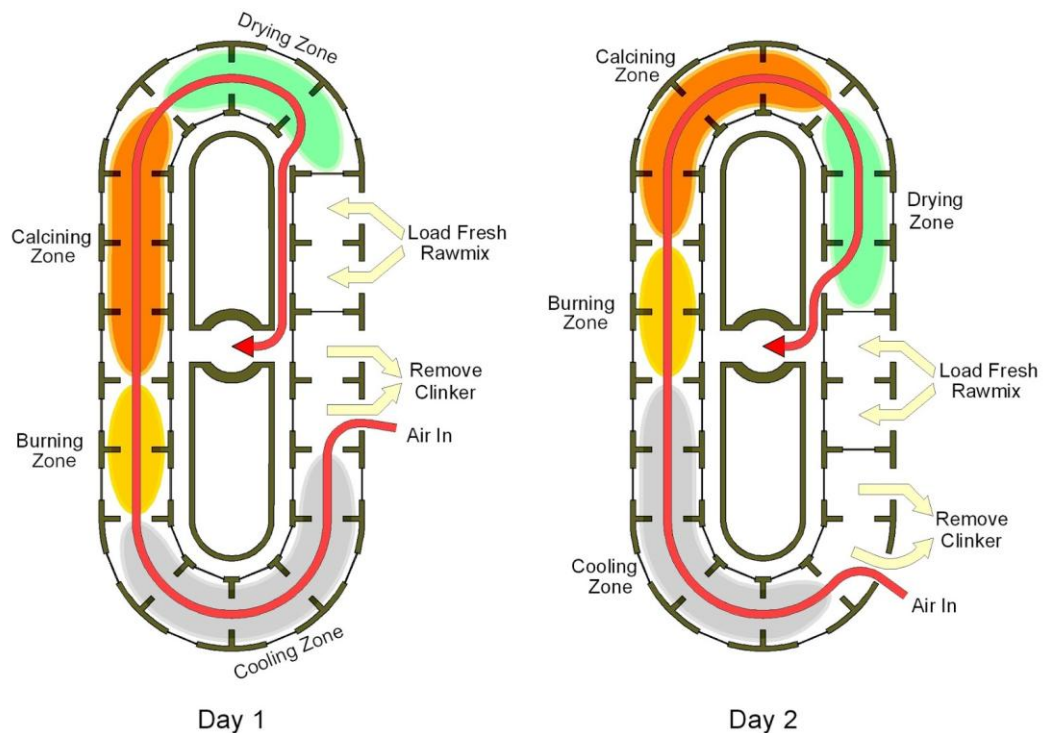


Schéma kontinuálního vypalování v Hoffmannově kruhové peci [Obr.3]

2.3 Technologie výroby cihel dnes

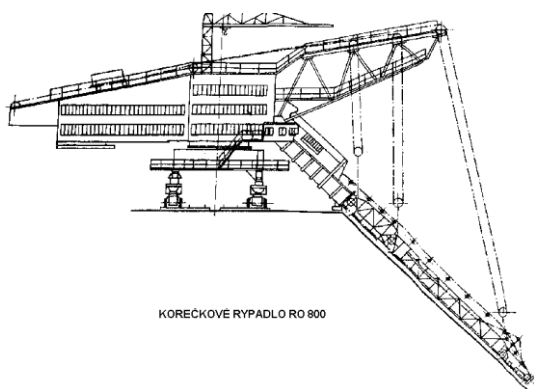
V dnešní době je výroba cihel plně mechanizována a automatizována.

Výroba se skládá z těchto etap:

- Těžba suroviny
- Odležení suroviny
- Příprava surovin
- Tvarování výrobků
- Sušení
- Výpal
- Balení, skladování

Nejprve se cihlářská hlína těží v blízkosti cihelny v tzv. hliništi povrchoým způsobem pomocí korečkových, kolesových nebo lopatových rýpadel. Natěžená surovina se kolejovými vozíky nebo nákladními auty dopraví na haldy k odležení. Během přípravy suroviny se provádí regulace vlastností změnou množství vody, ostřením, lehčením, odvzdušňováním, použitím přísad, ale také důslednou homogenizací, drcením, mletím a mísením.

Výrobky se utváří zejména ražením a tažením, kdy se plastické těsto protlačí skrze vhodně tvarované ústí lisu. Poté se materiál odpadním teplem z výpalu suší v sušárně po dobu 12-72 hodin. Výpal výrobků probíhá v tunelové peci při 860-1050°C po dobu 10-30 hodin v závislosti na typu výrobku. Na konci procesu vychladlé cihly podléhají kontrole (vizuálně nebo poklepem), zapáskují se a na přepravních paletách zabalí do smršťovací fólie [3].



Korečkové rýpadlo [Obr.4]



Vylisovaný pás cihel [Obr.5]



Pohled do tunelové pece [Obr.6]

2.4 Typy cihel používané dnes

V České republice se vyrábějí tyto druhy zdělicích prvků:

cihly plné	- CP
cihly odlehčené	- CO
pálené příčkovky	- Pk - pro panelovou výstavbu - pro tradiční výstavbu
cihly lícové	- plné CIP - dělivky CIPd - děrované CID
cihly pro režné zdivo	- plné CPR - odlehčené COR - děrované CDR
cihly typu THERM	- s kapsou pro maltu ve styčné spáře - se zazubenou styčnou spárou P+D
cihly typu AKU	- s plně promaltovanými styčnými spárami - s kapsou/kapsami pro maltu ve styčné Spáře - se zazubenou styčnou spárou - pro vylévání cementovou maltou/betonem
cihly superizolační THERM	- Si, STI
cihly broušené	- CB, SB

[4]

2.5 Malty pro zdění

Malta je směs pojiva (vápno, cement), plniva (písek) a vody. Výsledná pevnost malty závisí především na vlastnostech a množství pojiva v ní obsažené.

Dělení malt podle typu použitého pojiva:

- Vápenné
 - Obyčejné MV
 - Jemné MVJ
- Vápenocementové
 - Obyčejné MVC
 - Jemné MVCJ
- Cementové
 - Obyčejné MC
 - Pro cementový postřík MCP

Rozdělení malt do pevnostních tříd

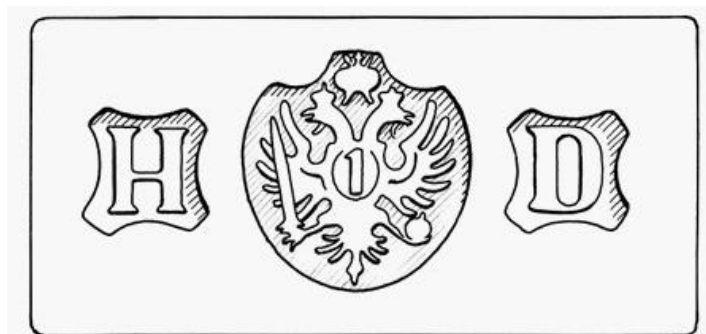
Třída	M1	M2,5	M5	M10	M15	M20	Md
Pevnost v tlaku [MPa]	1	2,5	5	10	15	20	> 25

[5]

2.6 Kolkování cihel (značení)

Značky na cihlách se prováděly již od doby římského impéria a dalších starověkých států. Nejstarší kolek zjištěný na Slovensku má podobu znaku města Banské Bystrice a pochází ze začátku 15. století. Kolkování každé cihly nastává od 2. poloviny 19. století. První kdo zavedl kolkování každé cihly byl H. Drasche. Značení cihel kolky převzaly postupně panské a královské cihelny, zde se jednalo o mocenskou propagandu daného šlechtického rodu. V 19. století začaly značky jednotlivých cihlen v tržním prostředí sloužit jako levná reklama. U značek na cihlách se nejčastěji setkáváme s různými kombinacemi písmen nebo číslic. Čísla někdy vytváří letopočet, jindy zase označují výrobní fázi souboru cihel. Písmena mohou být iniciály majitele cihelny, týkat se lokality cihelny nebo označovat dělníka, který danou várku cihel zpracoval. Obecně lze předpokládat, že číselné a písmenné značky ve většině případů nesly technologickou informaci popisující určitou fázi výrobního postupu (formování, sušení).

Rozlišujeme dva základní druhy značek: pozitivní (vystupující) a negativní (vytlačené). Relativně běžným jevem u pozitivních kolků je nesprávné provedení značek, kdy nebylo správně pochopeno zrcadlové promítnutí znaku či číslice. Při výrobě cihel s negativními značkami se na dno cihlářské formy umístily kovové lišty s nasazenými kovovými štočky, na kterých byly pozitivně vyvedené znaky představující značku. Po vyklopení surové cihly z formy vznikla značka negativní, jakoby „vstupující“ do hmoty cihly. Negativní značku bylo možné do surové cihly „otisknout“ také dodatečně. Předpokládá se, že značky mohly tisknout do cihel děti či pomocníci. Obecně lze říci, že značky pozitivní jsou vývojově starší než negativní kolky. Pozitivní kolky jsou běžné od 17. do 18. století, negativní jsou zastoupeny nejčastěji a jsou zařazeny do 19. století [1,6].



Značka výrobce Heinricha von Drasche [Obr.7]



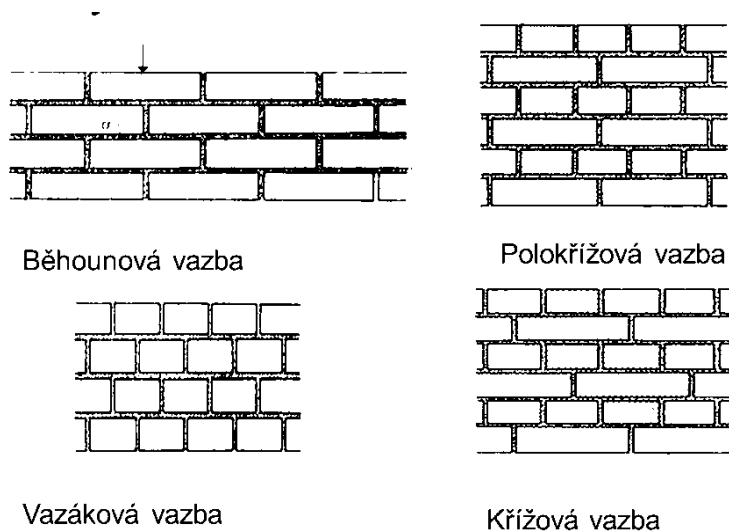
Negativní kolkování – Heinrich von Drasche [Obr.8]

2.7 Vazby zdiva

Vazba zdiva je způsob vzájemné polohy (sestavy) cihel, kdy ve dvou sousedních vodorovných vrstvách neprobíhají styčné spáry průběžně. Aby se dosáhla řádná vazba zdiva, je nutno dodržet tyto zásady:

- všechny styčné spáry v každé vrstvě musí být cihlou v horní vrstvě překryty o $\frac{1}{4}$ až $\frac{1}{2}$ délky cihly
- ložné spáry musí být vždy kolmé k tlaku, tj. musí být vodorovné a ve zdivu se má použít co nejvíce celých cihel. Při ukončení stěny, připojení, zalomení, zúžení, rozšíření nebo při křížování stěn se používají i části cihel, získané přiseknutím celých cihel třičtvrtky nebo půlky, výjimečně čtvrtky nebo pásky.

Cihla, uložená ve zdivu tak, že její délka je rovnoběžná s lícem stěny, se nazývá běhoun. Cihla s délkou kolmou na líc je vazák. Zdivo stěn tloušťky $\frac{1}{2}$ cihly obsahuje jen běhouny, zdivo má běhounovou vazbu, běhouny se převazují o $\frac{1}{2}$ cihly. Zdivo stěn, jejichž tloušťka se rovná délce cihel, je vazba vazáková, vazáky se převazují o $\frac{1}{4}$ cihly. U stěn tloušťky $1 \frac{1}{2}$ cihly a tlustších se v líci vyskytující běhouny i vazáky. Pravidelnými změnami jejich uspořádání se dosahuje různých vazeb. Z nichž nejběžnější jsou polokřížová vazba. Ve svislém směru se střídají vazákové a běhounové vrstvy, při délce převázání rovné vždy $\frac{1}{4}$ cihly. Styčné spáry vazákových vrstev (ob vrstvy) jsou nad sebou; totéž platí pro běhounové vrstvy. Křížová vazba ve svislém směru se střídají opět vazákové a běhounové vazby, při délce převázání rovné vždy $\frac{1}{4}$ cihly. Styčné spáry vazákových vrstev jsou nad sebou, avšak styčné spáry běhounových vrstev jsou o $\frac{1}{2}$ cihly posunuty [7,8].



Vazby zdiva [Obr.9]

2.8 Vývoj rozměrů cihel

Ve střední Evropě se v průběhu staletí měnily rozměry cihlářských výrobků i jejich vnější podoba. Pro období stavby a přestavby Chlapeckého sirotčince byly v platnosti následující předpisy týkající se rozměrů cihlářských výrobků. Zcela unifikovaného formátu bylo dosaženo až k datu 14. 4. 1883 v souvislosti s metrologickou reformou. Formát cihel pro zdění byl stanoven na 290 × 140 × 65 mm. Opuštění měření v palcích odstranilo dosavadní roztržitost jednotek a formátů.

Mohlo by se tedy zdát, že identifikace stáří cihly je poměrně jednoduchou úlohou díky stanovení rozměrů a porovnání s předpisy jednotlivých let. Opak je však pravdou. Díky technologii výroby a faktu, že při výpalu dochází ke smrštění cihlářského střepu, závislém na složení materiálu i podmínkách výroby, jsou rozměry cihel dosti variabilní oproti platným předpisům. Daný problém dokládá M. Ebel na základě vyhodnocení zprávy o Vyšetření stavu výroby cihlářských výrobků v Čechách dle krajů 1837/1838. Ze zprávy lze vyvodit následující:

- předepsaná délka cihly 11½ palce kolísala od 9 do 13 palců, jde tedy o odchylky až 2½ palce (65 mm)
- předepsaná šířka cihly 5½ palce kolísala od 4½ do 6 palců, jde tedy o odchylky až 1 palec (26 mm)
- předepsaná výška cihly 2½ palce kolísala od 1¾ do 3 palců, jde tedy o odchylky až ¾ palce (19 mm)

Z výše uvedeného jasně vyplývá, že možné odchylky od stanovených rozměrů mohou být značné. Pokud současně připustíme, k podobným odchylkám mohlo docházet i po metrické reformě, kdy řada lokálních cihelen pracovala nezměněnou technologií výroby, může být identifikace stáří cihly z tohoto období ošidná, neboť cihly z doby před metrickou reformou a po ní mohou mít srovnatelné rozměry [6,9].

2.8.1 Vývoj rozměrů v Čechách

V roce 1839 byly pro Čechy předeepsány základní rozměry cihel pro zdění (tzv. zdice) $11\frac{1}{2} \times 5\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$ palce ($302 \times 144 \times 65$ mm) a současně bylo předeepsáno razit na cihlu značku výrobce – cihelny. Rozměry byly uváděny pro výrobky po výpalu [6,9].

2.8.2 Vývoj rozměrů na Moravě

Na Moravě zůstal v platnosti výnos Moravsko-slezského gubernia z roku 1810, s rozměrem zdice $11\frac{1}{2} \times 5\frac{3}{4} \times 2\frac{3}{4}$ palce (palec dolnorakouský – $302 \times 151 \times 72$ mm). V období od druhé poloviny 18. století do poloviny 19. století byla v monarchii vydána řada výnosů ohledně rozměrů cihlářských výrobků, které spolu ne vždy zcela korespondovaly [6,9].

2.9 Stanovení pevnosti v tlaku zdících prvků

Ke stanovení pevnosti v tlaku cihelného zdiva je přístupováno dvěma způsoby. Buď se zdivo zkouší jako ucelený kompozit složený ze zdících prvků a malty, nebo se dané části konstrukce zkouší zvlášť, kdy se poté provede výpočet pevnosti, zhodnotí kvalita a typ vazby, míra vyplnění spár maltou a započítá se negativní vliv vlhkosti a přítomnost poruch (trhlin). Vzhledem k náročnosti vytvoření přesné simulace zatěžovacího schématu se dnes volí druhý způsob stanovení pevnosti. Nejprve se vypočte charakteristická pevnost v tlaku f_k , poté se provede výpočet návrhové pevnosti zdiva v tlaku f_d a nakonec se zohlední faktory ovlivňující (negativně) pevnost zdiva [10].

2.9.1 Pevnost v tlaku na vzorcích odebraných z konstrukce

Dle ČSN EN 772-1 se pevnost zdících prvků určuje jako průměrná hodnota daného počtu vzorků celých zdících prvků. Odebírání zkušebních vzorků je popsáno v ČSN-EN 771, přičemž je nutné odebrat minimálně 6 prvků z nejrůznějších částí konstrukce tak, aby bylo dosaženo co nejlepšího popisu objektu. Pokud mají zdící prvky velké rozměry, vyřezávají se z nich

reprezentativní vzorky určitých rozměrů. Pevnost v tlaku uvažovaná při návrhu je normalizovaná pevnost v tlaku f_b . Tato pevnost se určí přepočtem pevnosti zdících prvků na pevnost ve stavu v přirozené vlhkosti (4-8%) a následně se vynásobí součinitelem vlivu výšky a šířky zdících prvků δ dle tabulky 1 [10,11].

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

výška	šířka [mm]				
[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

Zkouška je velice jednoduchá a spočívá v rovnoměrném plynulém zatížení vzorku, jenž je dostředně uložen na desku lisu. Vzorek se zatěžuje až do porušení, kdy se zaznamená naměřená síla [10,12].

2.9.2 Pevnost v tlaku na tělesech vyrobených z jádrových vývrtů

V případě, že je obtížné z konstrukce odebrat celé vzorky zdících prvků, lze využít jádrových vývrtů. Vývrty jsou válcová zkušební tělesa získány z konstrukce pomocí vodou chlazených jádrových vrtáků na konci opatřených diamantovou korunkou. V praxi se používají vývrty o průměru 50mm a 75mm. Umístění vrtu je často vodorovné, nejlépe do vazáku na celou délku cihly [7].

2.9.3 Pevnost v tlaku zjištěná nedestruktivně

Při nedestruktivním zjišťování pevnosti v tlaku cihel je využíváno odrazového tvrdoměru **Schmidt LB**. Kladívko umístěné v pouzdru tvrdoměru je vymrštno pružinou, která vyvine rázovou energii 0,735 Nm, proti zkoušenému prvku. Jedná se o modifikaci tvrdoměru typu Schmidt L, který je používán pro beton. Zásadním rozdílem je u typu LB značně menší poloměr kulové plochy razníku – razník je zakulacený. Pro cihly bylo vytvořeno několik kalibračních vztahů. Provedení a vyhodnocení zkoušky tvrdoměrem Schmidt LB se prakticky neliší od postupu měření tvrdoměrem Schmidt L, jen kalibrační vztahy jsou jiné. Na obroušeném povrchu cihly se provede minimálně 7, ideálně však 10 měření odrazu a každé této hodnotě se přiřadí hodnota pevnosti v tlaku $f_{b,e}$ podle kalibračního vztahu. Hodnota jednotlivých platných pevností se nesmí lišit od aritmetického průměru o více než 20% na stejném zkušebním místě. Hodnoty pevností, které tento požadavek nesplňují, se vyloučí a ze zbývajících (minimálně 7) měření se vypočítá nový aritmetický průměr [12].



Schmidtovo kladívko typu LB se zakulaceným razníkem

Je nutno podotknout, že Schmidtovo kladívko nám neměří pevnost, ale tvrdost materiálu. Až díky směrným kalibračním vztahům a součinitele α lze tvrdost přibližně přepočítat na pevnost v tlaku. Zkoušení tvrdoměrnou metodou se provádí na cihlách plných pálených, u tvarovek je výsledek pevnosti zkreslen kvůli přítomnosti otvorů. Skleroskopické (tvrdoměrné)

zkoušky jsou výhodné díky jejich rychlosti provádění a ceně, nicméně nemají velkou váhu oproti destruktivním zkouškám, které často doplňují. Odchyly výsledků se mohou lišit až o 20% [12].

2.9.3.1 Popis tvrdoměru a práce s ním

Zjednodušenou funkci tvrdoměru ukazuje schéma na obr.10. Beran (1) je držen v určité vzdálenosti od úderníku (2). Tažná pružina (3) je jedním koncem upnuta k pouzdru (4) a druhým koncem k beranu (1). Při zkoušce se opře úderník svým kulovitým zakončením o povrch betonu a tlakem na pouzdro směrem k betonu se napíná tažná pružina. V nastavené poloze je uvolněn beran a dopadne na úderník. Při rázu se energie pohybu projeví nejen vtiskem úderníku do materiálu, ale především odrazem beranu zpět. Velikost odrazu závisí na tvrdosti pružného materiálu, kdy se beran posune (odrazí) na stupnici (5). Příklad je možno aretovat v poloze po provedení rázu. Značka přitom zůstane na ukazateli stát. Při odaretování se posune značka na výchozí polohu a zkoušku je možno provést na dalším místě.

Práce s tvrdoměrem je velice jednoduchá. Nejdříve na vybraném místě hmatem zkontrolujeme rovnost povrchu, případně nežádoucí omítnutí apod. Příklad opřeme úderníkem o povrch, je-li zaaretován, lehce přitlačíme pouzdro k betonu, aretace se uvolní a pouzdro se může odsunout od prvku. Poté se pomalu zatlačí na pouzdro, dokud nenastane ráz způsobený úderem beranu do úderníku. Nyní se na přístroji stiskne aretační knoflík, značka zůstane na stupnici a úderník zůstane zasunut v pouzdře. Zaznamená se odraz zaokrouhlený na celé jednotky. Odaretování se provede tak, že přístroj se lehce přitlačí o povrch a po cvaknutí (odjištění aretačního knoflíku) se přístroj uvolní. Tím se znovu vysune úderník a ve zkoušení je možno pokračovat.

Při zkoušce Schmidovým tvrdoměrem je nutno zaznamenat i polohu, ve které byl přístroj při zkoušce (vodorovně, svisle nahoru, svisle dolů). Tato skutečnost se totiž projevívá při vyhodnocení ve formě opravy vlivu gravitace na funkci přístroje [7,12,13].

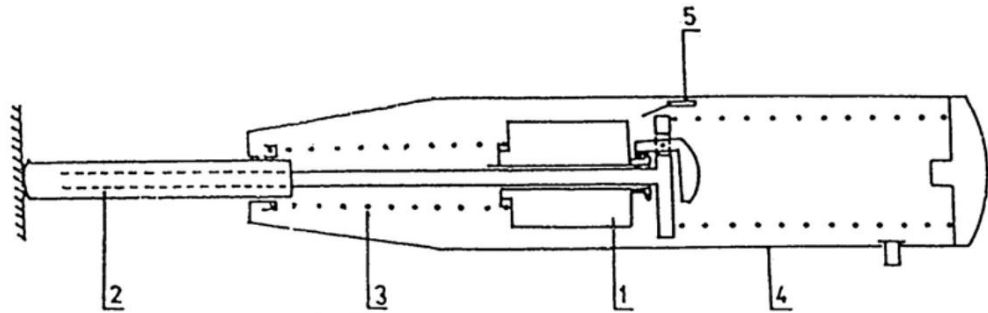
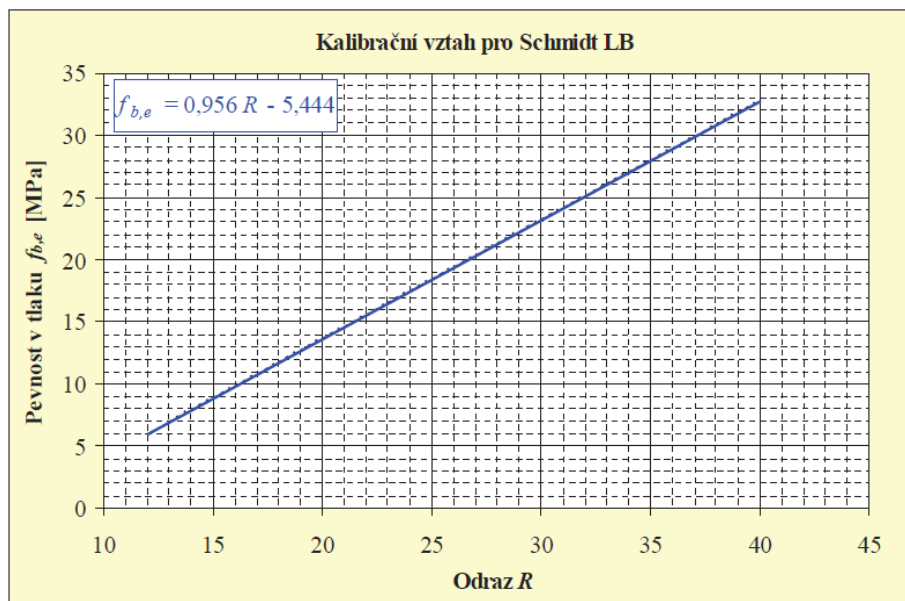


Schéma funkce tvrdoměru Schmidt [Obr.10]



Kalibrační vztah pro Schmidt LB [Obr.11]

2.9.4 Pevnost v tlaku zjištěná semidestruktivně - metoda plochých lisů

Tato metoda slouží nejen ke stanovení lokální napjatosti cihelného, případně smíšeného zdiva, ale také ke stanovení modulů pružnosti zdiva. V zájmovém místě zkoušky se vybere vodorovná ložná spára a kolmo na ní se osadí tři základny pro sázecí deformetry ve vzdálenosti 200 mm. Měřící terče jsou umístěny souměrně vzhledem k vodorovné spáře. V této fázi se odečte hodnota na číselníkových indikátorech, toto čtení se nazývá základní. Poté se odstraní malta ze sledované spáry, která se vyčistí a provede se druhé čtení na indikátorech sázecího deformetru. Následuje vložení tenkého plochého lisu do spáry a tenkými plechy se lisy vypořádají. V této části zkoušky je možno začít vhnět do plochého lisu hydraulický olej tak dlouho, dokud se na indikátorech neobjeví stejné hodnoty jako při prvním – základním čtení. V této chvíli je možno předpokládat, že síla lisu odpovídá původnímu napětí ve zdivu.

Použijí-li se dva tenké lisy umístěné v ložných spárách nad sebou, lze z naměřených hodnot přetvoření ve třech svislých a jedné vodorovné základně stanovit modul přetvárnosti a poté pevnost v tlaku zdiva mezi plochými lisy. Zatěžovací zkouška se provádí do hodnoty průměrného napětí v tlaku ve zdivu nebo do poloviny předpokládané pevnosti vyšetřovaného zdiva v tlaku [7,12].

2.10 Stanovení pevnosti v tlaku malty

2.10.1 Metody zjišťování pevnosti v tlaku malty ve spárách

Dnes je v praxi využíváno hned několika způsobů zjišťování pevnosti v tlaku malty. Tím nejčastějším je stanovení pevnosti pomocí upravené ruční vrtačky, tzv. **Kučerova vrtačka**. Ta byla vyvinuta v pražském zkušebním ústavu (TZÚS). Metoda je založena na vzájemném vztahu pevnosti malty a odporu malty proti vnikání vrtáku při příklepovém vrtání při daných podmínkách. Oproti běžné vrtačce má navíc příklep, počítadlo otáček a tlačnou pružinu v opěrce o předepsané tuhosti, díky níž je vyvíjen předepsaný přítlak. Hloubka vrtu o průměru 8mm udává odpor malty [12].



Kučerova ruční vrtačka

I přes poměrně fyzicky namáhavé provádění metody se stala Kučerova vrtačka velice oblíbenou, nicméně TZÚS Praha vyvinul další, nový typ vrtačky, tentokrát však na elektrický pohon, nesoucí označení **PZZ 01**. Obsluha této vrtačky je značně jednodušší. V přední části vrtačky se nastaví stupeň předpokládané pevnosti malty dle zkušebního přepisu. Tímto se automaticky nastaví příslušný počet otáček vrtáku, po jejichž provedení se vrtačka vypne. Stanovený přítlak je dán tlakem pružiny, jehož interval je mechanicky aretován. Dále byl zmenšen průměr vrtáku na 6mm, díky čemuž se dosáhlo lepší použitelnosti vrtačky v užších spárách [12].

U tvrdoměrných metod na starších konstrukcích je největším problémem tloušťka spár, která se většinou pohybuje v rozmezí od 10 mm do 14 mm. Za takovýchto situací je vhodné použití indentoru. Princip metody spočívá v zatlačování kovového razníku obvykle válcového průměru 4 mm do maltové spáry. Na indentoru jsou naznačeny rysky po 5 mm a zatlačení je dosaženo pomocí úderů kladiva o hmotnosti 1 kg ze vzdálenosti 100 mm, tudíž je energie úderu rovna 1 J. Byl vytvořen také kalibrační vztah, který ovšem může být ovlivněn osobou provádějící zkoušku (síla úderu, rychlost, přesnost). Z tohoto důvodu byl vyvinut kyvadlový indentor, který zaručuje konstantní energii úderu, díky konstrukci využívající tíhového zrychlení (gravitace), viz Schmidt PM [7].

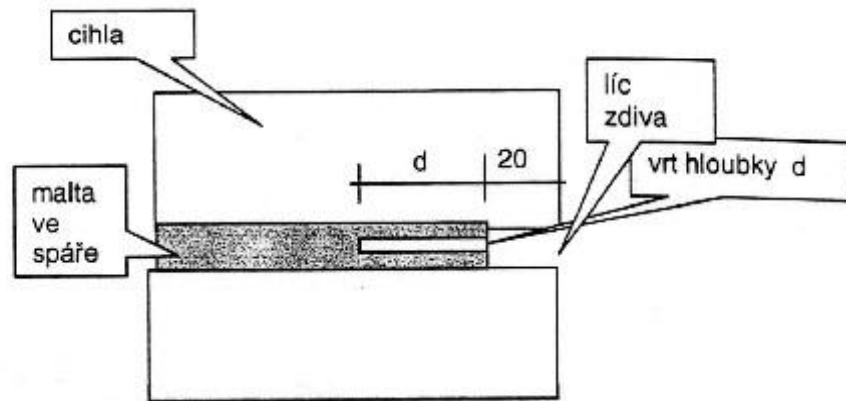
Dalším přístrojem, který lze využít ke stanovení pevnosti v tlaku malty je tvrdoměr **Schmidt PM**. Skládá se z půlkruhové dráhy, po které se pohybuje beran s razníkem o průměru 8 mm. Po dopadu lze na stupnici odečíst hodnotu odrazu, která je závislá na pevnosti malty. Této metody je využíváno spíše na nových konstrukcích.

V případě dostatečně velké tloušťky spár a dostatečně pevné malty lze pro stanovení její pevnosti v tlaku použít tělesa (i menších rozměrů, např. 25x25x25 mm) vyrobená ze spár s pomocí jádrových vývrtů [7].

2.10.2 Zkušební postup pro upravené vrtačky

Metodika zkoušení je v obou případech vrtaček stejná, liší se pouze kalibračními vztahy. Místo zkoušení se volí na tlačných prvcích (sevření spáry) a v případě omítnutí zdiva musí být patřičně upraveno. Nejprve se odstraní omítky na ploše o rozměrech přibližně 200 x 150 mm tak, že ložné spáry jsou v podélné ose upravené plochy. Dále se v ložné spáře vyseká zvětralá/zkarbonatovaná vrstva malty do hloubky přibližně 20 mm za líc zdiva. Při zkoušení malty se v ložné spáře provedou celkem tři vrty ve vzájemných vzdálenostech cca 40 mm a 50 mm od případné hrany zdiva. Hloubka vrtu se změří hloubkoměrem, načež jako platné měření se uvažuje hloubka vrtu nelišící se od průměrné hloubky ze všech tří vrtů o více než 30%.

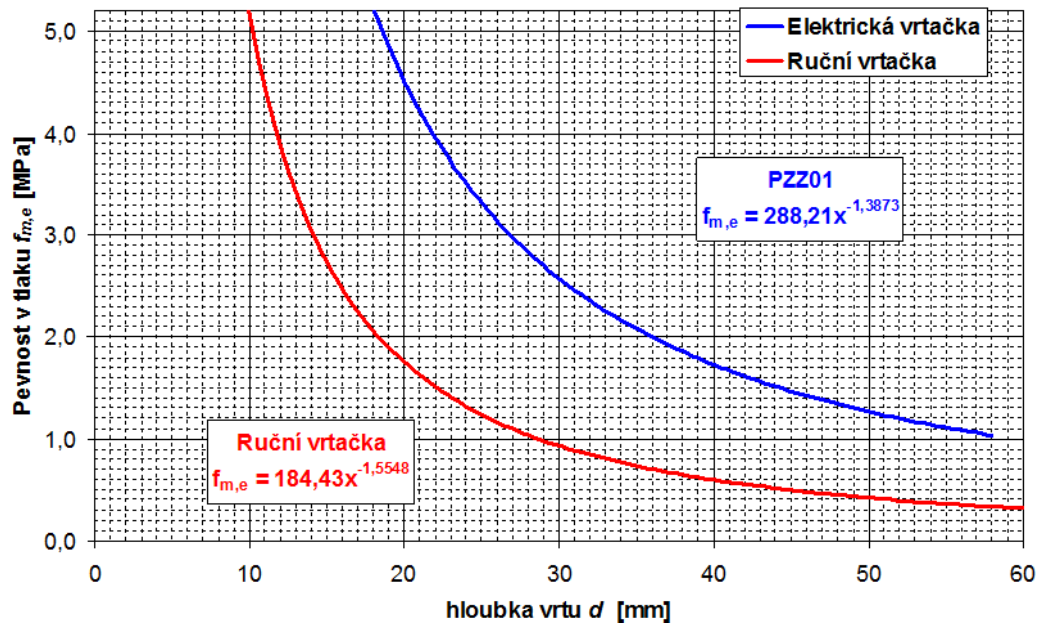
Pokud této podmínce nevyhovují dva ze tří vrtů, zkušební místo se neuvažuje. Pokud nevyhovuje jeden vrt, vyloučí se z měření a nahradí se novým vrtem [12].



Umístění a hloubka vrtu (řez zdivem) [Obr.12]

2.10.3 Vyhodnocení zkoušky

Kalibrační vztahy jsou vytvořeny výrobcem vrtaček pro různé vstupní podmínky, mezi nimiž vystupují zejména typ přítlaku, průměr vrtáku a způsob vyvození otáček. Nejsou tedy vzájemně porovnatelné, protože respektují různost obou typů vrtaček. Tyto kalibrační vztahy jsou uvedeny na obr. 13



Kalibrační vztahy pro pevnost v tlaku malty [Obr.13]

Ze tří platných měření na jednom zkušebním místě se vypočte aritmetický průměr hloubky vrtů dm se zaokrouhlením na 1 mm. Informativní hodnota pevnosti malty $f_{m,e}$ se stanoví v závislosti na zjištěné průměrné hloubce vrtu dm z obecného kalibračního vztahu pro daný typ přístroje. Pevnost získaná zkouškou jednoho zkušebního místa se považuje za ekvivalentní hodnotě pevnosti malty získané zkoušením jednoho zkušebního tělesa. Z výsledků všech zkoušek na konstrukci se určí výběrový průměr pevnosti malty f_m [12].

2.11 Hodnocení existujících zděných konstrukcí

2.11.1 Charakteristická pevnost zdiva v tlaku

Charakteristická pevnost zdiva v tlaku se podle ČSN ISO 13822 určí z pevnosti zdících prvků a z pevnosti malty dle následujícího vztahu:

$$f_k = K \cdot f_b^a \cdot f_m^\beta$$

f_k charakteristická pevnost zdiva v tlaku s vyplněnými ložnými spárami [N/mm²]

K konstanta závislá na druhu zdiva a skupině zdících prvků, pro nejčastější uspořádání prvků z plných pálených cihel klasického formátu průměrné pevnosti a obyčejné malty se střídáním běhounů a vazáků ve vazbě zdiva se uvažuje $K=0,55$

f_b normalizovaná průměrná pevnost v tlaku zdících prvků [N/mm²]

f_m průměrná pevnost malty v tlaku [N/mm²], uvažuje se menší z hodnot $2f_b$ nebo 20 MPa

a exponent závislý na tloušťce ložných spár a druhu malty, $a=0,7$ pro nevyztužené zdivo s obyčejnou nebo lehkou maltou

β exponent závislý na druhu malty, $\beta=0,3$ pro obyčejnou maltu, $\beta=0$ pro lehkou maltu a maltu pro tenké spáry

[12,14]

2.11.2 Návrhová pevnost zdiva v tlaku

Při hodnocení zdiva a tedy určení návrhové pevnosti v tlaku f_d dle ČSN ISO 13822 se vypočítá jako podíl charakteristické pevnosti v tlaku f_k a dílčího součinitele zdiva γ_m , který se určí podle vztahu:

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3} \cdot \gamma_{m4}$$

- γ_{m1} základní hodnota dílčího součinitele spolehlivosti, která se pro zdivo z plných cihel uložených na obyčejnou maltu rovná 2,0
- γ_{m2} součinitel vlivu pravidelnosti vazby a vyplnění spár maltou ($0,85 < \gamma_{m2} < 1,2$); dobrá vazba 0,85; průměrná vazba 1,0; špatná vazba 1,2
- γ_{m3} součinitel vlivu zvýšené vlhkosti; pro vlhkost zdiva v intervalu od 4% do 20% se určí interpolací mezi hodnotami $1,0 < \gamma_{m3} < 1,25$
- γ_{m4} součinitel zahrnující vliv svislých a šikmých trhlin ve zdivu v intervalu $1,0 < \gamma_{m4} < 1,4$ (dolní mez platí pro zdivo bez trhlin)

[12,14]

3. PRAKTICKÁ ČÁST

Diagnostika a zhodnocení stavu bývalé fary ve Veverských Knínících

3.1 Informace o objektu

Bývalá fara se nachází na kraji obce Veverské Knínice (1000 obyvatel) 20km západně od Brna. Na celém pozemku se nachází kromě vyšetřované stavby také přidružené hospodářské objekty, dnes využívané obcí především k vlastním účelům. Výstavba prvotní části fary začala v 18. století, kdy se během let a také z důvodu rozšiřování fary vybudoval přístavek. Stavba prošla mnoha změnami od oprav, až po rozšíření v podobě rizalitu v průčelí budovy a přístavku pro sýpku, viz obr.20 [14].



Obr.17 Pohled z ulice (v levé části fotografie je pozdější přístavba)



Obr.18 Pohled z pozemku na přístavek



Obr.19. Pohled ze dvora na průčelí



Obr.20 Přistavěná sýpka pro skladování obilí

Objekt má dvě nadzemní podlaží a půdní prostor pod střechou. Je částečně podsklepený. V podzemním podlaží se nachází bývalá studna, která je již zasypaná. Konstrukce je zděna ze smíšeného zdiva, což představuje kombinaci cihel a kamene. Byly nalezeny nepálené cihly pokládané na jílovitou hlínu, a to v přistavené části – sýpce. Stropy v 1.NP tvoří klenby, často kombinované. Ve 2.NP lze nalézt stropy trémové. V obou podlažích vykazují očekávané, ale i nebezpečné průhyby. Konstrukce krovu je atypická z důvodu přistavování dalších objektů. Skrze místy porušenou střešní krytinu do objektu zatéká, což je příčinou většiny místních problémů a degradace budovy jako celku.

Důvodem průzkumu je historická a architektonická hodnota objektu, která předurčuje k rekonstrukci. Obec si přeje objekt zachovat (rekonstruovat) za účelem zřízení galerie nebo penzionu pro seniory.

Objekt může být z časového hlediska rozdělen na dvě části, a to na část původní fary a na části k ní přistavěné v pozdějších letech, přičemž tato bakalářská práce popisuje především část původní.

3.2 Zaměření a průzkum objektu

Při zaměření a průzkumu objektu bylo postupováno dle následujícího scénáře.

- Předběžné studium dostupných dokumentů a podkladů
- Předběžná vizuální prohlídka - identifikace stavu konstrukce vizuální prohlídkou za použití akustické trasovací metody
- Zaměření tvaru a dispozice budovy laserovým dálkoměrem typu HILTI
- Pasportizace objektu - identifikace kritických nedostatků, na které je nutno se v další části průzkumu zaměřit

Během průzkumu byla provedena sekaná sonda pro zjištění složení zdiva. Mimo to byly dále odebrány vzorky cihel a malty ke zkoušení v laboratoři. Některé nalezené cihly nesou negativní kolkování s iniciály KR. Během průzkumu bylo nalezeno hned několik trhlin nejen ve zdivu, ale také v klenbách a střepech - některé jsou méně či více závažné. Skrze děravou střechu do objektu zatéká dešťová voda a tvoří plísně. Výjimkou nebyly opadané omítky.



Obr.21 Laserový dálkoměr HILTI



Obr.22 Smíšené zdivo



Obr.23 Konstrukce krovu je značně poškozena



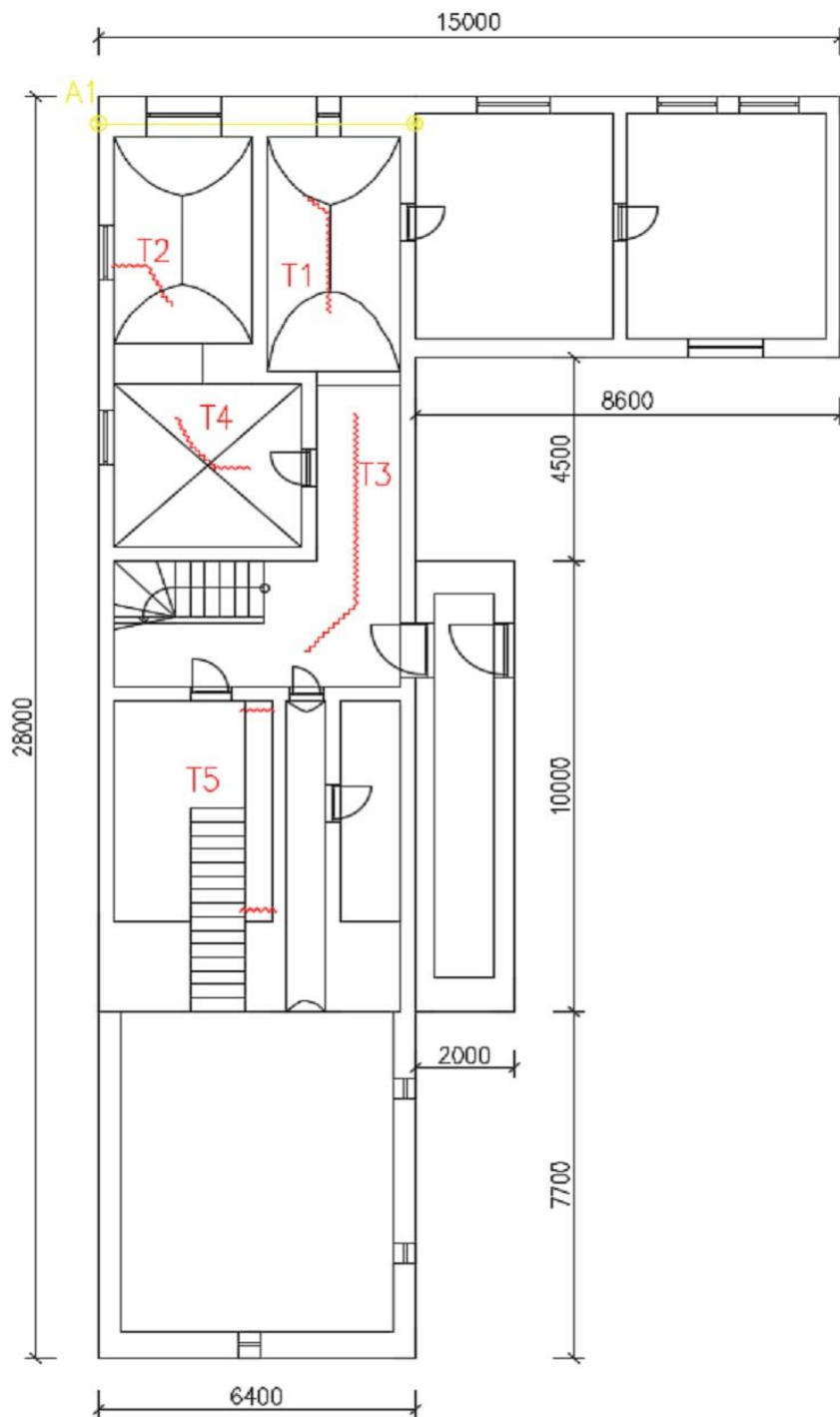
Obr.24 Neprovázané zdivo (důkaz přístavby)

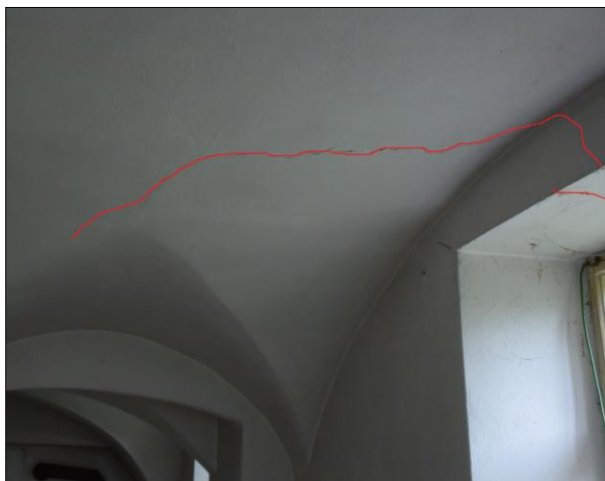
V obvodové zdi byla v minulosti zabudována táhla zajišťující stabilitu vnitřního zdiva s obvodovým. Mimo tyto ztužující prvky byly také objeveny svislé výztuhy ve vnějších rozích přistavěného rizalitu.



Obr.23,24,25 Ukázky ztužujících prvků

3.3 Pasport původní části objektu 1.NP





Obr.26 Trhlina T2 – pohledová trhlina maximální šířky 2mm- prostupuje nadpražím k vrcholu klenby. Příčinou vzniku trhliny může být sedání konstrukce.

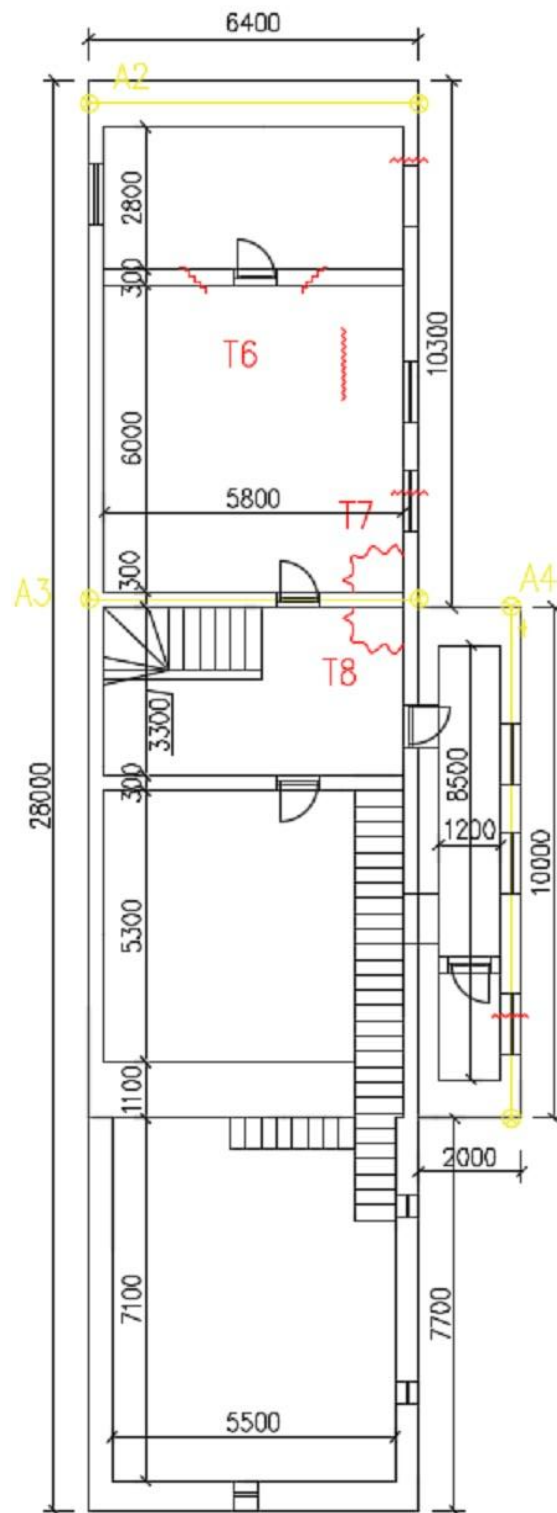


Obr.27 Trhlina T4 – pohledová trhlina šířky 1mm-prostupuje vrcholem klenby-nemá vliv na statické působení konstrukce.

Trhliny T1 a T3 se projevují jako povrchové, vykazující šířku maximálně 1mm. Z půdorysu 1.NP lze vyčíst směr šíření trhliny T1 k T3, proto lze předpokládat, že trhlina T3 je pokračováním šíření trhliny T1. Obdobný případ lze vyzorovat u trhlín T2 a T4, kdy trhlina T2 má tendenci následovat trhlínu T4. T5 označuje narušení klenby při patečních spárách.

V objektu byla v minulosti zabudována táhla, zajišťující konstrukci především v příčném směru. V 1.NP je pouze jedno táhlo A1, v 2.NP se už vyskytují táhla tři (A2,A3,A4), přičemž táhla A2 a A3 ztužují příčný směr, zatímco táhlo T4 ztužuje vystupující rizalit v podélném směru.

2.NP





Obr.28 Trhliny T6 způsobené sedáním komínu a průhybem stropu



Obr.29 Trhliny T6-šířka obou trhlín je až 4mm



Obr.30 Pohled na trhliny T6 z vedlejší místnosti-šířka je trhlín 4mm



Obr.31 Trhliny T6 – pohled na kamna



Obr.32 Trhlina T7 v nadpraží zapříčiněná tlakem krovu



Obr.33,34 Místo T8 porušené průsakem dešťové vody skrze díry ve střeše



Obr.35,36,37 Lokální poruchy ve střeše-zatékající dešťová voda je příčinou chátrání objektu



Obr.38 Krov byl v minulosti napaden škůdci, nenese však velké známky poškození



Obr.39,40 Porušení střechy je výrazné a zatékající dešťová voda způsobuje zvýšenou vlhkost a oslabuje konstrukční prvky krovu

3.4 Odebrané vzorky cihel a malty

Na místě bylo odebráno celkem 10 cihel z vybourané klenby, které byly následně převezeny do laboratoře ke stanovení pevnosti v tlaku pomocí hydraulického lisu.



Obr.41 Sada cihel A



Obr.42 Sada cihel B



Obr.43 Sada cihel C

Jedná se o cihly patrně barokní, vyráběné ručně v rámové formě bez kolku, podkládané hrubým prknem, což je na jejich povrchu patrné.

Tab.2 Naměřené hodnoty na cihlách odebraných z původního objektu

-	šířka [mm]	výška [mm]	hloubka [mm]	hmotnost [kg]
A1	302,5	148,3	69,5	4,391
A2	290,6	145,6	75,9	4,566
A3	294,5	148,6	65,3	4,282
B1	293,5	149,4	65,8	4,404
B2	297,6	148,8	71,2	4,578
B3	300,9	151,8	67,2	4,365
B4	302,2	146,4	66,5	4,821
C1	298,9	150	69,6	4,691
C2	207,4	144,5	76,4	3,378
C3	302,5	151,6	69,9	4,661

Poznámka: Všechny cihly byly v laboratoři důsledně očištěny od nečistot a malty. Rozměry cihel byly stanoveny pomocí digitálního posuvného měřítka a ve výsledku zaokrouhleny na jedno desetinné místo v milimetrech. Vzorky byly zváženy na digitální laboratorní váze v přirozeném vlhkostním stavu, tzn. ihned po odebrání z konstrukce.

Odebrané cihly byly částečně pokryty vrstvou hrubozrnné vápenné malty, některé byly dokonce pokládány na jílovitou hlínu. Cihly nesou známky určitého poškození v podobě trhlinek či odlomků, nerovnoměrné struktury nebo výpalu.

Jednotlivé cihly se od sebe liší barvou, což je především dáno teplotou výpalu. Čím je teplota výpalu vyšší, lze od cihly očekávat také vyšší pevnost. Tato diferenciací je způsobena umístěním cihly v peci během výpalu.

Variabilitu rozměrů určuje typ a postup výroby cihel, v tomto případě se jedná o ruční výrobu v dřevěných rámových formách, pro kterou je to typické.



Obr.44 Odebrané vzorky hrubozrnné vápenné malty



Obr.45 Odebrané vzorky hrubozrnné vápenné malty



Obr.46 Odebrané vzorky malty (A)

3.4.1 Zkoušky provedené in situ

Na konstrukci krovu bylo provedeno několik demonstrativních zkoušek vlhkosti dřeva zářezem odporovým vlhkoměrem. Princip metody spočívá ve vlivu vlhkosti ve dřevě na elektrický odpor. Nejdříve je nutno na přístroji nastavit teplotu okolí (10°C) a druh dřeva, v tomto případě se jedná o dřevo jedlové. V místě, kde zatékala voda skrze děravou střechu, byla na polorozpadlém trámu naměřena 15% vlhkost. Na dalších místech se vlhkost pohybovala v intervalu 9-13,3%.



Obr.47 Střední vaznice ve velmi ztrouchnivělém stavu-napadení škůdci a působení vody

3.5 Zkoušení odebraných vzorků cihel a malty

Zkoušení cihel

Zkušební vzorky cihel byly před zahájením měření zbaveny přebytečných nečistot a následně diamantovou pilou nařezány na poloviny. Dostředně uložené vzorky na tlačnou desku hydraulického lisu, byly plynule zatěžovány až do porušení. Pro eliminaci nerovností povrchu byly použity vyrovnávací podložky.

Tab.3 Výsledky zkoušky stanovení pevnosti v tlaku dle ČSN EN 772-1+A1

Vzorek	Rozměry			F	$f_{b,i}$	f_b	$f_{b,prům}$
	a	b	c				
	[mm]	[mm]	[mm]			$\delta=0,75$	[MPa]
A 1-z-1	150	147	68	199 000	9,0	6,8	6,8
A 3-z-1	148	142	64	244 200	11,6	8,7	9,95
A 3-z-2	148	150	64	330 700	14,9	11,2	
B 3-z-1	152	143	67	300 400	13,8	10,4	10,45
B 3-z-2	152	154	67	327 000	14,0	10,5	
B 2-z-1	149	146	70	290 400	13,3	10,0	9,65
B 2-z-2	149	146	70	268 800	12,4	9,3	
B 4-z-1	142	146	63	560 200	27,0	20,3	19,4
B 4-z-2	142	150	63	526 300	24,7	18,5	
C 1-z-1	143	152	76	332 900	15,3	11,5	11,5
C 2-z-1	149	149	69	311 800	14,0	10,5	10,5
C 3-z-1	149	151	70	235 300	10,5	7,8	7,8

Z tabulky 3 lze vyčíst normalizované pevnosti jednotlivých cihel, přičemž nejnižší pevnost vykazuje vzorek A1 s 9MPa a nejvyšší B4 s 25,8MPa.



Obr.48 Sada zkoušených půlek cihel

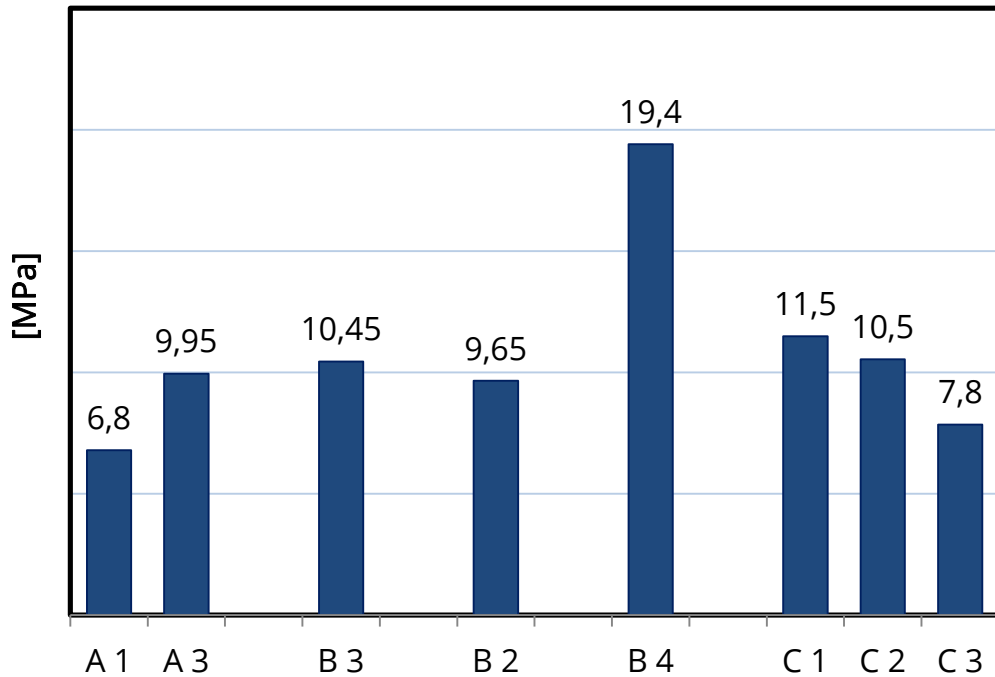


Obr.49 Ukázka cihel před a po porušení



Obr.50 Ukázka cihel před a po porušení

Normalizované pevnosti v tlaku cihelných vzorků



Graf srovnání normalizovaných pevností jednotlivých vzorků cihel

Vyhodnocení pevnosti cihel

Abychom získali co nejobjektivnější normalizovanou pevnost v tlaku, vyřadíme minimální a maximální naměřenou hodnotu a zbylé zprůměrujeme. Výslednou hodnotu později použijeme pro stanovení charakteristické a návrhové pevnosti zdiva.

6,8 9,95 10,45 9,65 19,4 11,5 10,5 7,8

$$f_b = \frac{9,95 + 10,45 + 9,65 + 11,5 + 10,5 + 7,8}{6} = 9,975 \Rightarrow 9,9 \text{ MPa}$$

Zkoušení a vyhodnocení pevnosti malty

Odebrané kusy hrubozrnné vápenné malty nebylo možné nařezat na zkušební vzorky, neboť se při řezání rozpadly. Vzhledem k jejich hrubozrnné struktuře a obsahu příměsí se tento fakt očekával, proto budeme pevnost malty odhadovat na 0,4MPa.

3.6 Zhodnocení stavu konstrukce

Během průzkumu bylo zjištěno mnoho lokálních poruch. Běžné jsou vlasové trhliny, jejichž šířka je zanedbatelná, ale i trhliny způsobené sedáním konstrukce nebo vlivem krovu, kdy od sebe roztlačuje zdi a ty se odklání. Přistavěný rizalit má také tendenci se od konstrukce odklánět, proto zde byla zabudována táhla. Trámové stropy vykazující průhyby mohou být bez zajištění nebezpečné. Největším nedostatkem je však krov a děravá střecha, skrze kterou do objektu zatéká dešťová voda, která v místě udržuje zvýšenou vlhkost a je původcem dalších problémů. Nefunguje zde ani odvodňovací systém dešťové vody-ta z utrženého okapového žlabu teče přímo na nosné zdivo a do základové půdy, kterou podmáčí, což způsobuje pokles rohu přístavku.

Pokud si obec přeje faru zachovat a opravit, prvním krokem by mělo být vyřešení odvodňovacího systému. Dále je zde nutnost opravení střechy i krovu, vysušení a větrání objektu a následné zaizolování soklu i základů.

3.6.1 Stanovení charakteristické pevnosti zdiva v tlaku

Charakteristická pevnost zdiva v tlaku se určí dle ČSN ISO 13822 z normalizované pevnosti zdících prvků a malty dle vztahu:

$$f_k = K \cdot f_b^a \cdot f_m^\beta$$

$$f_k = 0,55 \cdot 9,9^{0,7} \cdot 0,4^{0,3} = 2,08\text{MPa}$$

Vypočtená charakteristická pevnost zdiva v tlaku je 2,08MPa.

3.6.2 Stanovení návrhové pevnosti zdiva v tlaku

Návrhová pevnost zdiva v tlaku f_d se podle ČSN ISO 13822 vypočítá jako podíl charakteristické pevnosti v tlaku f_k a dílčího součinitele zdiva γ_m

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3} \cdot \gamma_{m4}$$

$$\gamma_m = 2,0 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 3,456$$

$$f_d = \frac{2,08}{3,456} = 0,6\text{MPa}$$

Vypočtená návrhová pevnost zdiva v tlaku je 0,6MPa.

3.7 Závěr praktické části

V rámci zhodnocení stavu bývalé fary bylo z konstrukce odebráno 10 vzorků cihel, které byly následně v laboratoři podrobeny destruktivním zkouškám ke stanovení pevnosti v tlaku. Z výsledků zkoušek jsme získali normalizované pevnosti nabývající hodnot 6,8MPa až 19,4MPa v přirozeném vlhkostním stavu, což zhruba odpovídá pevnostem cihel z doby výstavby (18.století) fary. Vzhledem k charakteru odebraných vzorků malty, jsme jejich pevnost odhadem stanovili na 0,4MPa. Tato vápenná malta je velmi hrubozrnná s obsahem příměsí, proto se z ní nepodařilo nařezat zkušební vzorky.

Charakteristickou pevnost zdiva v tlaku f_k jsme dle ČSN ISO 13822 vypočítali na 2,08MPa.

Návrhová pevnost zdiva v tlaku f_d dle ČSN ISO 13822 je stanovena na 0,6MPa.

4. ZÁVĚR

Jedním z hlavních úkolů této bakalářské práce bylo vypracování přehledu historického vývoje cihel. Toto téma je rozebráno od samotného počátku objevení pálené hlíny jako stavebního materiálu až po současnou podobu cihly, včetně vysvětlení výrobních technologií a to jak ve světě, tak i v českých zemích. V případě srovnání cihlářského průmyslu v minulosti a dnes, můžeme vidět významný pokrok ve zvyšování únosnosti, kvality produktu a jeho dostupnosti.

Druhou, velmi podstatnou částí bakalářské práce je seznámení se s metodami používanými při diagnostice historických zděných konstrukcí. Jednou z pro nás nejdůležitějších vlastností zdících prvků je jejich pevnost v tlaku, kterou zjišťujeme pomocí destruktivních, semidestruktivních a nedestruktivních metod, které byly rozebrány podrobněji, za případného použití korelací mezi nimi. U každé z použitelných metod je popsána podstata provádění i vyhodnocení zkoušky. Součástí diagnostiky zděných konstrukcí je zjištění pevnosti malty, k čemuž využíváme Kučerovu, nebo elektrickou vrtačku, případně Schmidt PM.

V rámci praktické části jsme si osvojili metody použité na reálném objektu bývalé fary ve Veverských Knínicích, kde bylo předmětem zhodnocení a pasport jejího aktuálního stavu za účelem rekonstrukce. Z konstrukce byly odebrány cihly a vzorky malty, které byly po převozu do laboratoře podrobeny zkouškám pevnosti v tlaku, s následným vyhodnocením charakteristické a návrhové pevnosti zdiva v tlaku dle ČSN ISO 13822.

V závěru praktické části je popsán aktuální stav konstrukce s doporučením postupů pro zajištění a sanaci fary.

Seznam zdrojů

- [1]http://davar.cz/badatelna/xref/cih_historie.htm
- [2]<http://www.cihlarstvi.estranky.cz/clanky/historie-cihlarstvi/strucna-historie-cihlarstvi.html>
- [3]http://www.spsstavcb.cz/download2/633_2350_cs_04a_cihlarske_vyrobky_technologie_vyroby.pdf
- [4]Kol. autorů: Cihlářský lexikon, CSČM, 2001
- [5]ČSN EN 998-2 ED.2-Specifikace malt pro zdivo - Část 2: Malta pro zdění
- [6] <http://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/14780-historicky-objekt-z-hlediska-puvodu-a-kvality-pouziti-cihelnych-zdicich-prvku>
- [7]Diagnostika stavebních konstrukcí,Přednášky, Doc.Ing. L. Hobst Csc., Prof.Ing. J. Adámek, Csc., Ing. P.Cikrle, Ing. P. Schmid, Phd, VUT v Brně
- [8] Kostka R.:Diplomová práce, Porovnání nedestruktivních zkoušek cihelného zdiva se zkouškami na vývrtech a kusových stavivech, Brno 2002
- [9] Ebel, M.: Rozměry cihlářských výrobků, Dějiny staveb, 2001
- [10]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
- [11]ČSN EN 771-1+A1 – Specifikace zdících prvků-část 1: Pálené zdící prvky
- [12] http://www.sz.k.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/ESF_C4_N%C2%A0vod.pdf
- [13]ČSN 731373 – Nedestruktivní zkoušení betonu – tvrdoměrné metody zkoušení betonu

[14] ČSN ISO 13822 Navrhování stavebních konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí, Praha: Český normalizační institut

Další použité zdroje

Schmid, P. a kol. Základy zkušebnictví, CERM, 2001

Anton, O. a kol. Základy zkušebnictví, Návody do cvičení, CERM, 2002

Pume, D., Čermák, F. a kol.: Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí, Praha, Arch, 1993

Pytlík, P.; Sokolář, R.: Stavební keramika, CERM, 2002

Příslušné normy ČSN a ČSN EN

Výběr separátů z databáze ÚSZK k danému tématu

Archiv historické literatury ÚSZK.

Seznam použitých obrázků

[Obr.1] <http://www.cihlarstvi.estranky.cz/img/picture/129/stroj-na-cihly.jpg>

[Obr.2] http://news.bbc.co.uk/media/images/46918000/jpg/_46918563_img_1347.jpg

[Obr.3] http://www.cementkilns.co.uk/images/hoffman_kiln.png

[Obr.4] <http://www.hornictvi.info/prirucka/technika/2008.gif>

[Obr.5] http://www.vseprovasdum.cz/data/i314_825.jpg

[Obr.6] <http://stavba.tzb-info.cz/docu/clanky/0097/009789o17.jpg>

[Obr.7] <http://www.cihlarstvi.estranky.cz/img/picture/161/cihla-hd.jpg>

[Obr.8] <http://www.cihlarstvi.estranky.cz/img/picture/162/cihla-hd-2.jpg>

[Obr.9] http://images.slideplayer.cz/11/3189653/slides/slide_15.jpg

[Obr.10] Zkušebnictví a technologie, modul BI02-M04, Laboratorní cvičení,
Ing. Ondřej Anton a kolektiv

[Obr.11] http://images.slideplayer.cz/8/2009641/slides/slide_23.jpg

[Obr.12] http://www.szok.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/ESF_C4_N%C2%A0vod.pdf

[Obr.13] http://images.slideplayer.cz/8/2009641/slides/slide_19.jpg