

VŠB- Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

## **Vlastnosti historického zdícího materiálu**

## **Features of historical masonry material**

Student:

Bc. Šárka Krejčí

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jana Daňková, Ph.D.

Ostrava 2013

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Šárka Krejčí**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T021 Stavební hmoty a diagnostika staveb

Téma: **Vlastnosti historického zdicího materiálu**  
**Features of historical masonry material**

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je definovat vlastnosti konkrétního historického zdicího materiálu.

Obsah práce:

1. Úvod do problematiky historických zděných staveb.
2. Charakteristika a popis konkrétního historického zděného objektu.
3. Průzkumy a hodnocení zdiva vybraného objektu.
4. Laboratorní část průzkumných prací. Fyzikálně - mechanické vlastnosti zdicího materiálu. Vybrané analytické metody.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

PYTLÍK, P. a kol.: Stavební keramika. CERM: Brno 2002. ISBN 80-7204-234-3.

HANYKÝŘ, V. a kol.: Technologie keramiky. Silikátový svaz: Praha 2008. ISBN 978-80-86821-48-1.

ŠKABRADA, J.: Konstrukce historických staveb. Argo: Praha 2007. ISBN 80-7203-548-7.

ČSN 72 5010. Stanovení nasákavosti, zdánlivé pórovitosti, pórovitosti, objemové hmotnosti a zdánlivé hustoty vypálených keramických směsí a výrobků. Praha: Český normalizační institut, 1989.

ČSN 72 1009. Příprava konečného vzorku pro chemické a fyzikální zkoušky keramických výrobků a surovin.

a další normy, odborná periodika a sborníky dle pokynů vedoucího práce v průběhu řešení zadaného tématu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jana Daňková, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2013

Datum odevzdání: 02.12.2013



Ing. Libor Žídek  
vedoucí katedry



prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.  
děkanka fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

## Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB- TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB- TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB- TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....



## **Poděkování:**

Ráda bych poděkovala Ing. Janě Daňkové, Ph. D. za odborné vedení a cenné rady, které mě pomohly při psaní této práce.

Mé poděkování dále patří Klášteru premonstrátů v Želivě, oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů ÚGN AVČR, v. v. i., projektu Tvorba a internacionalizace špičkových vědeckých týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB-TUO a projektu Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin, který umožnil měření v Laboratoři tepelných vlastností, reologie a koroze stavebních materiálů.

## **Anotace**

Koncentrace památkově chráněných objektů na území České republiky je velmi vysoká, proto neustále stoupá zájem o zachování těchto historicky cenných staveb, které se často nachází v nevyhovujícím stavu. Za účelem obnovy památky se provádí stavební, historické a architektonické průzkumy, jejichž cílem je, mimo jiné, identifikovat a specifikovat použité historické materiály.

Hlavní nosnou konstrukcí památkových objektů je obvykle zdivo, které stejně jako ostatní materiály podléhá degradaci, podpořené v mnoha případech statickými i vlhkostními problémy objektu. Ve své práci jsem se zaměřila na studium vlastností historického zdíciho materiálu, který prošel degradačními procesy. Teoretická část práce je věnována historii a výrobě keramiky, druhům zděných konstrukcí, vadám a poruchám zdiva a následnému stavebně technickému průzkumu a diagnostice zdiva. Experimentální část práce byla věnována laboratorním metodám pro stanovení a vyhodnocení vlastností historického zdíciho materiálu pocházejícího z objektu konventu Kláštera premonstrátů v Želivě.

## **Annotation**

The numbers of historical buildings in the Czech Republic listed as protected is high and therefore there is increasing interest in the preservation of these historically valuable buildings, which are often found in unsatisfactory conditions. In order to rebuild the relics, historical and architectural surveys are carried out in order to identify and specify the use of historical materials.

The main structure of historical buildings is usually masonry, which like other materials is subject to degradation supported in many cases by static object and humidity problems. In my work I have focused on the study of historical properties of the materials, which underwent degradation processes. The theoretical part is devoted to the history and manufacture of ceramics, types of masonry structures, defects and malfunctions of masonry construction and subsequently technical investigation and diagnosis of masonry. The experimental part of the work is focused on the laboratory methods for the identification and evaluation of historical properties of the structural wall material from the Premonstratensian convent in Želiv.

## Obsah:

Seznam zkratk	1
<b>1. Úvod</b>	<b>3</b>
<b>2. Historie keramických materiálů</b>	<b>4</b>
2.1. Historický vývoj cihel	5
<b>3. Výroba keramiky</b>	<b>9</b>
3.1. Suroviny pro výrobu keramiky	9
3.1.1. Jílové zeminy	9
3.1.2. Ostřiva	10
3.1.3. Taviva	10
3.1.4. Lehčiva	11
3.2. Příprava keramické směsi	11
3.3. Tvarování keramiky	12
3.4. Sušení keramiky	14
3.5. Výpal keramiky	15
<b>4. Druhy zděných konstrukcí</b>	<b>20</b>
4.1. Rozdělení zděných konstrukcí	20
4.2. Zdivo kamenné	21
4.3. Cihelné zdivo	23
4.4. Zdivo z betonových tvárnic	24
4.5. Smíšené zdivo	25
<b>5. Vady a poruchy zděných konstrukcí</b>	<b>26</b>
5.1. Trhliny zděných konstrukcí	26
5.2. Vlhkost zděných konstrukcí	29
5.2.1. Zdroje vlhnutí zdiva	30
<b>6. Stavebně technický průzkum historických staveb</b>	<b>33</b>
<b>7. Diagnostika zděných konstrukcí</b>	<b>35</b>
7.1. Destruktivní metody	35

7.2. Nedestruktivní metody .....	37
7.3. Semidestruktivní metody .....	38
<b>8. Experimentální část – Vlastnosti historického zdícího materiálu z objektu konventu Kláštera premonstrátů v Želivě .....</b>	<b>39</b>
8.1. Analýza historických podkladů Kláštera premonstrátů v Želivě .....	40
8.2. Popis budovy konventu Kláštera premonstrátů v Želivě .....	41
8.2.1. Stavební historie konventu .....	42
8.3. Specifikace vzorků historického zdícího .....	43
<b>9. Experimentální stanovení vlastností historického zdícího materiálu .....</b>	<b>46</b>
9.1. Makroskopické posouzení .....	46
9.2. Fyzikálně mechanické posouzení .....	49
9.2.1. Nasákavost, pórovitost, zdánlivá hustota .....	49
9.2.2. Dynamický modul pružnosti .....	51
9.2.3. Pevnost v tlaku .....	54
9.3. Analytické posouzení .....	56
9.3.1. Petrografie cihloviny .....	56
9.3.2. Infračervená spektroskopie .....	64
9.3.3. Termická analýza .....	69
<b>10. Vyhodnocení zjištěných vlastností historických zdících prvků .....</b>	<b>77</b>
10.1. Makroskopické vyhodnocení .....	77
10.2. Fyzikálně mechanické vyhodnocení .....	77
10.3. Analytické vyhodnocení .....	82
<b>11. Závěr a doporučení pro další výzkum .....</b>	<b>85</b>
Seznam obrázků .....	86
Seznam grafů .....	88
Seznam tabulek .....	89
Seznam vzorců .....	89
Seznam chemických rovnic .....	90
Seznam literatury .....	91

## Seznam zkratek

14110-14115 Analytické označení vzorků

$\rho$	Objemová hmotnost keramického střepu	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_v$	Hustota vody	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\kappa$	Součinitel rozměrnosti prostředí	[-]
A	Teplota oxidace	[°C]
$A_z$	Plocha zatěžování	[mm <sup>2</sup> ]
B	Teplota počátku rozkladu	[°C]
C	Teplota slinovací	[°C]
ČSN	Česká státní norma	
DTA	Digitální termická analýza	
DTG	Derivační termografie	
DSC	Digitální skenovací kalorimetrie	
$E_{bu}$	Dynamický modul pružnosti	[MPa]
F	Maximální zatěžovací síla	[kN]
IČS	Infračervená spektroskopie	
$k_C$	Koeficient citlivosti k sušení	[-]
l	Délka tělesa při zjištěné vlhkosti	[mm]
$l_0$	Počáteční délka tělesa	[mm]
m	Hmotnost tělesa	[kg]
$m_h$	Hmotnost nasáknutého vzorku váženého na vzduchu	[g]
$m_{hw}$	Hmotnost nasáknutého vzorku váženého ve vodě	[g]
$m_s$	Hmotnost suchého vzorku	[g]
$m_w$	Hmotnost vlhkého vzorku	[g]
N	Nasákavost	[%]
N1	Novodobá cihla plná pálená	
P	Pórovitost	[%]
R	Pevnost v tlaku	[MPa]
$S_s$	Smrštění sušením	[%]
TGA	Termografická analýza	
v	Impulsová rychlost ultrazvukového vlnění	[km.s <sup>-1</sup> ]
V	Objem tělesa	[m <sup>3</sup> ]

V1- V6	Označení vzorků historických cihel	
W	Vlhkost materiálu	[%]
W <sub>C</sub>	Vlhkost kritická	[%]
W <sub>K</sub>	Vlhkost celková	[%]
X	Teplota výpalu	[°C]
ZH	Zdánlivá hustota	[kg.m <sup>-3</sup> ]

## 1. Úvod

Stavební památky znázorňují informace o realitě života, záměrech a ideích jednotlivých generací obyvatel. Tyto obsáhlé odkazy jsou však neustále ohrožovány nepřiměřenými stavebními zásahy, způsobenými nepochopením hodnoty památky, ale také přirozenými procesy degradace materiálů a v neposlední řadě požadavky hygienickými či technickými.

Základem většiny historických i novodobých stavebních konstrukcí je zdivo, přenášející zatížení z horní části objektu, přes základovou konstrukci a základovou spáru, do zeminy. Vývoj těchto nosných konstrukcí lze sledovat z kusových prvků, tvořících zdivo, pomocí laboratorních metod.

Poruchy zděných konstrukcí památkových objektů jsou zpravidla způsobeny spolupůsobením více faktorů, vzniklých při návrhu, realizaci či užívání objektu. Pro odstranění poruchy konstrukce je nutné především odstranění příčiny této poruchy, která je u zděných konstrukcí nejčastěji charakteru vlhkostních nebo statických problémů objektu. K určení příčiny slouží stavebně technické průzkumy.

Památkově chráněné objekty zahrnují natolik obsáhlé struktury, že pro následnou obnovu nelze určit univerzální postup. K obnově památky je nutno přistupovat jako k svébytné interpretaci obnovovaného historického díla. Její specifikace je dána řadou kritérií v realizaci průzkumných, návrhových i sanačních prací a spojením odborných, architektonických a výtvarných dovedností.

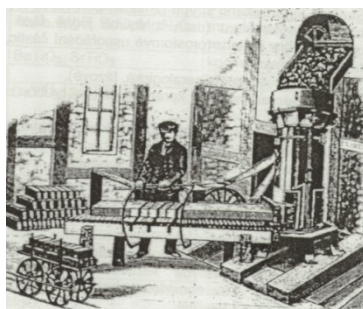
Tématem práce je určení vlastností historického zděného materiálu, cihly plně pálené, za pomoci laboratorních fyzikálně mechanických a analytických metod. V první fázi je popsána teorie zabývající se vznikem a výrobou keramiky, druhy zděných konstrukcí, stavebně technickým průzkumem a diagnostikou zděných konstrukcí, prováděnou pomocí metod destruktivních, nedestruktivních a semidestruktivních. Praktická část této práce je zaměřena na studium vlastností historických plných pálených cihel, odebraných z budovy konventu, nacházející se v Klášteře premonstrátů v Želivě.

## 2. Historie keramických materiálů

Výroba keramiky je jednou z nejstarších dovedností člověka. První výrobky z hlíny vznikaly již 10000 let před počátkem našeho letopočtu a sloužili jako pomůcky pro život člověka. Nejčastěji byly vyráběny nádoby pro vodu a potraviny a to bez pomoci hrnčářského kruhu, který byl vynalezen ve 4. tisíciletí př.n.l.. Rozmach hrnčářství nastává v antickém Řecku.

Druhou nejvýznamnější keramickou výrobou se po hrnčářství stala keramika stavební. První pálené cihly se objevují ve 3. tisíciletí př.n.l. Mezi nejstarší cihelné stavby patří například zikkurat v Uru nebo také nejmohutnější cihelná stavba Velká čínská zeď.

První zmínky o stavební keramice v Českých zemích pochází z 9. století, kdy dochází k výrobě cihel a střešní krytiny. V 16. století se u nás stává cihla vypalovaná v milířích všeobecně používaným stavivem [10]. Výroba cihel probíhala ručně do dřevěných forem, jejich rozměry byly o 8 mm větší než konečná velikost cihly. Po vyplnění formy cihlářskou směsí byly cihly několik týdnů sušeny na slunci a následně vypalovány v peci. V 19. století nastává výrazný růst poptávky po pálených cihlách, způsobený rostoucím počtem obyvatel. Objevují se první známky mechanizace výroby cihel. V roce 1854 Schlickeysen patentuje vertikální lis poháněný koňmi, v roce 1859 již patentuje lis s parním pohonem (viz obr. č. 1). Následuje rychlý vývoj mechanizace: 1865- horizontální šnekový lis, 1875- revolverový lis na pálenou krytinu, 1933 vakuový lis [10]. Součástí vývoje mechanizace byla také postupná modernizace pecí a sušáren. V roce 1858 vznikla kruhová pec, roku 1879 byla patentována pec tunelová, používána pro výrobu keramických materiálů dodnes. Následkem tohoto vývoje, spolu s růstem infrastruktury, vznikají první velké továrny. Výroba cihel se stává celoroční záležitostí s dostatečným výkonem pro uspokojení trhu. K rozvoji dochází taktéž v ostatních keramických výrobcích, zejména u střešních pálených tašek. V roce 1910 přichází zlom ve výrobě cihel, začínají vznikat cihly děrované, které postupně plně pálené cihly vytlačují.



Obr. č. 1: Šnekový lis s parním pohonem [10]



## 2.1. Historický vývoj cihel

Za počáteční impuls, vedoucí k výrobě cihel, se dají považovat chýše, budované ve středověku z rákosí a hlíny. Za cihlu, se pak daly označit výrobky nepálených tvarovek, sušených na slunci, jejíž existence byla prokázána z archeologických nálezů z Tygrisu, datujících se 7500 př. n. l. Tento materiál byl využíván dlouhou řadu let, i v dobách, kdy již byla známá pálená cihla (3. tisíciletí př.n.l.).

Prvotní cihelné výrobky tedy vznikaly v sumerské říši z hlíny. Vyráběly se hnětením do tvaru kulatých bochníků, jejichž protilehlé strany byly seříznuty. Následovali cihly čtvercového tvaru s hranami, které byly až dva roky sušeny na slunci a následně použity pro výstavbu, za pomoci hlíny nebo asfaltu, sloužící jako spojovací prostředek.



*Obr. č. 2: Hliněné cihly Zikkuratu v Uru- Sumerská říše (2100 př. n. l.) [25]*

Egyptané vyráběli cihly z bahna a slámy. Výroba cihel spočívala v namáčení této směsi po dobu několika dní, což způsobilo počátek rozkladu slámy, z které se pak uvolňovala lepkavá buničina, která dávala cihle potřebnou celistvost a pevnost. [28]

Nepálené cihly se postupem času objevují v Řecku a Římě. Ve 4. tisíciletí př. n. l. dochází k výrobě čtvercových cihel, o rozměru 370 mm nebo 220 mm na území Řecka, které techniku pálených cihel objevuje až v 4. století př. n. l. Římané pálené cihly používali ještě o tři století později, ale na rozdíl od Řeků této znalosti využili natolik, že cihly byly vyráběny v takové kapacitě, že byly používány nejen pro výstavbu zdí, ale i pilířů, kleneb, sloupů a podlah. Výroba probíhala v mobilních pecích prostřednictvím Římských legií. Existence cihel byla také prokázána na území Německa a to 80 – 70 př. n. l.



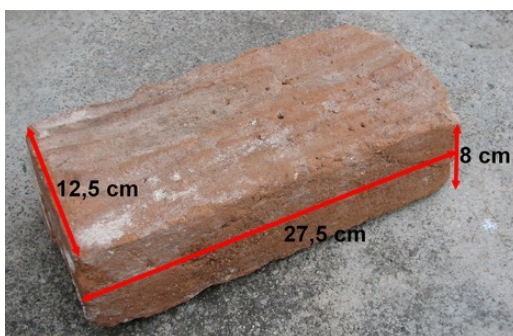
Obr. č. 3: Cihla pocházející z přelomu 7 – 8 století př. n. l. [31]

Cihla plná pálená se také objevuje v starověké Číně, v období dynastie Song. Cihly byly označovány podle konkrétního výrobce (mistra výpalu), aby v případě neshod bylo patrné, kdo cihlu vyrobil. Za nejvýznamnější Čínskou stavbu, při jejíž výstavě byly použity, i mimo jiné, cihelné prvky, se dá považovat Velká čínská zeď, která začala vznikat 221 př. n. l. v období dynastie Čchin.



Obr. č. 4: Cihelné zdivo Velké čínské zdi [27]

Cihlová výroba se ve 12. století dostává do severní Evropy, kde v období gotiky dochází ke zvýšenému využívání pálených cihel (převážně Dánsko, Polsko, Německo, Rusko). Cihly se v tomto období a následně i po dlouhou řadu let poté, vyrábějí ručně do dřevěných forem a to tak, že po vyplnění formy cihlářskou směsí byly cihly několik týdnů sušeny na slunci a následně vypalovány v peci.



Obr. č. 5: Gotická cihla pocházející z Kvasnického hradu [33]

Ve středověku české země nepoužívají pro výstavbu cihly pálené, ale převažuje výroba cihel nepálených tzv. vepřovic, které se užívají zejména v 17. století. Suroviny pro výrobu byly značně závislé na dostupnosti jednotlivých zdrojů, běžně se využívaly hlíny, vápna, slámy, plevy, písky a chlévské mrvy. Všechny vstupní prvky byly smíchány s vodou, jejíž množství záviselo na druhu hlíny, bylo tedy nutné najít optimální poměr všech složek keramického těsta. Následovala homogenizace materiálu pomocí dusání či šlapání, vyplnění formy připravenou směsí a sušení na slunci.



*Obr. č. 6: Dřevěná forma pro výrobu cihel [33]*

Cihly pálené v období 17. století byly známkou bohatství, tedy jejich výskyt byl podstatně nižší než u vepřovic (viz obr. č. 5). Postupem času nedochází k velkým změnám postupu výroby, pouze se mění rozměry cihel.



*Obr. č. 7: Vepřovice [33]*

Roku 1619 byl vynalezen stroj určený k formování cihel, i přes tento objev výroba cihel probíhá klasickými, již známými postupy. Rozmach využívání cihel nastává v období renesance. Následuje baroko, v němž se koncem 18. století objevují první známky normalizace rozměrů cihel (Německo). Na českém území se vyrábí cihly s rozměry 6,5 x 14 x 29 cm, tedy velmi blízké dnešním rozměrům plných pálených cihel.



*Obr. č. 8: Barokní cihla [33]*

Následuje rychlý vývoj ve výrobě cihel. Nejprve se roku 1813 začínají objevovat cihly dutinové, následuje rozvoj strojového zařízení, popsany v kapitole 2. této práce a cihly plně pálené přestávají stačit rychlému vývoji stavitelství a jsou nahrazeny lehčenými cihlami, umožňujícími rychlejší a levnější výstavbu [11].



### 3. Výroba keramiky

Keramiky lze definovat jako anorganický materiál s heterogenní strukturou, tvořenou krystalickou fází, skelnou fází a póry. Proces výroby keramiky se skládá s fází přípravy, tvarování, sušení a výpalu keramického těsta.

#### 3.1. Suroviny pro výrobu keramiky

Rozdělení keramických surovin dle původu:

- Přírodní (jíly atd.)
- Syntetické (oxid zirkoničitý, oxid hlinitý atd.)
- Druhotné (struska, popílek atd.)

Rozdělení keramických surovin dle plasticity:

- Plastické- po styku s vodou jsou tvarovatelné (kaolíny, jíly, bentonity atd.)
- Neplastické- po styku s vodou nejsou tvarovatelné, patří zde ostřiva, taviva a lehčiva

##### 3.1.1. Jílové zeminy

Jedná se o směsné přírodní materiály, primárně složené z jemně zrnitých minerálů, které jsou obecně plastické při přiměřeném obsahu vody a které ztvrdnou po vysušení či výpalu [16]. Hlavními jílovými zeminami jsou hlíny s obsahem 20% až 50% jíloviny a jíly s obsahem více jak 50% jíloviny. Dle velikosti minerálních zrn rozdělujeme jílové zeminy na jílovinu ( $d < 0,002$  mm), prachovinu ( $d = 0,002 - 0,05$  mm) a pískovinu ( $d = 0,05 - 2$  mm).

Jílové nerosty tvořící jílovinu:

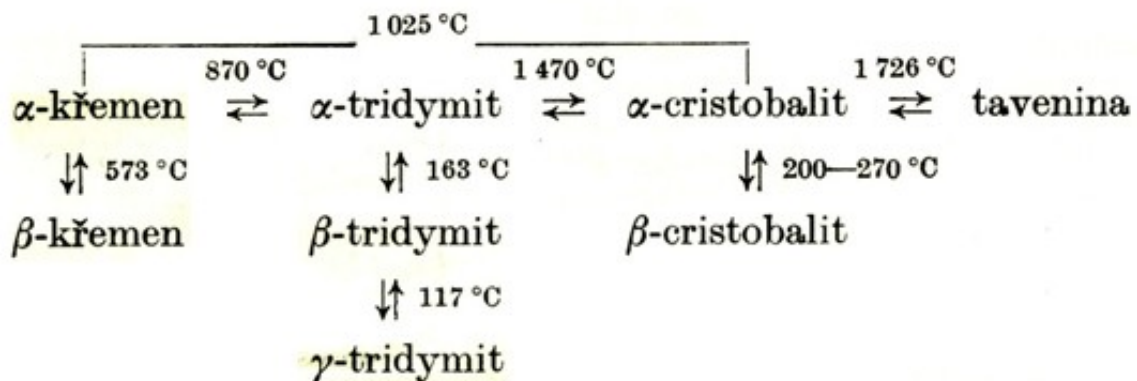
- Kaolinit ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- Montmorillonit ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )
- Illit ( $n\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )
- Vermikulit ( $3(\text{Mg,Fe,Al})\text{O} \cdot 6(\text{Si,Al})\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- Chlorit ( $10(\text{Mg,Fe})\text{O} \cdot 2 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ )
- Amorfnní nerosty ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )

### Ostatní nerosty v jílových zeminách [10]:

- Oxidy (křemen, rutil, anatas, hematit)
- Živce (ortoklas, albit)
- Slídy (muskovit, sericin, biotit)
- Uhličitany (kalcit, dolomit, siderit, ankerit)
- Sírany (sádrovec)
- Hydroxidy (goethit, lepidokrokit)
- Hydroxidy hliníku (hydragillit, diaspor)
- Sírniky (pyrit, markasit)

### 3.1.2. Ostřiva

Ostřiva snižují tvarovatelnost keramického těsta a pozitivně ovlivňují chování keramické hmoty během sušení a výpalu a to zejména deformace výrobku a teplotu slinutí. Mezi látky s těmito schopnostmi patří například křemen, korund a lupek.



Obr. č. 9: Schéma modifikačních přeměn oxidu křemičitého [14]

### 3.1.3. Taviva

Hlavní funkcí taviv je snížení teploty výpalu keramické hmoty. Jedná se o látky, které vytvářejí taveninu při nižších teplotách. Podle účinku je dělíme na taviva základní (snadno tavitelné látky jako jsou živce, pegmatity, trachyty a různá skla) a na taviva eutektická (oxidy CaO, MgO, FeO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, které působí jako taviva pouze za součinnosti ostatních oxidů surovinové směsi) [9].

### 3.1.4. Lehčiva

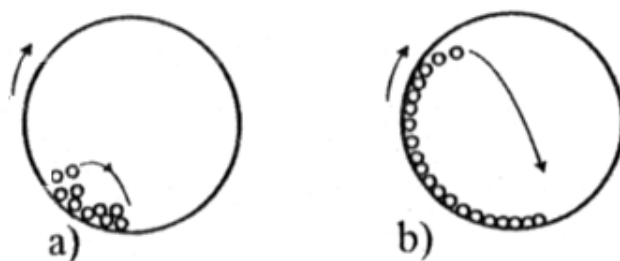
Jedná se o neplastické keramické suroviny, které se využívají zejména pro snížení objemové hmotnosti výrobku, což vede také k nižší tepelné vodivosti a k snížení pevnosti konečného produktu. Lehčiva mohou působit přímo (při výpalu keramické hmoty vyhoří, například piliny, popílek, korek, polystyrén) nebo nepřímo (svojí nízkou objemovou hmotností snižují hmotnost výrobku, například škvára, křemelina, expandovaný perlit).

### 3.2. Příprava keramické směsi

Prvním krokem výroby keramických materiálů je příprava keramické směsi. V této fázi dochází k homogenizaci a úpravě suroviny na požadovanou velikost zrn, danou druhem vyráběného výrobku.

#### Mletí keramické směsi

Úprava granulometrie vstupních surovin se provádí převážně mletím, nejčastěji za mokra v bubnových mlýnech. Ve většině případů se melou pouze neplastické materiály s 10% jílu. Bubnový mlýn se naplní z 50% až 55% mlecími těsty. Celkově nesmí obsah všech složek v bubnu (mlecí těsto, mlecí koule a voda) zaplnit více jak 80% objemu bubnu. Mletí se uskutečňuje tím, že koule, které jsou přitlačovány odstředivou silou k vnitřní stěně mlýnu, jsou vynášeny v závislosti na jeho otáčkách do určité výšky, odkud padají na melivo a zbylá mlecí tělesa [4]. Při vypuštění směsi prochází hmota sítlem, o potřebné velikosti zrn, aby došlo k přefiltrování nedomletých částic. Takto namletá hmota může mít velikost zrn menší než 20  $\mu\text{m}$ .



Obr. č. 10: Schéma pohybu mlecích koulí v bubnovém mlýnu: a) kaskádní, b) kataraktní [4]

#### Odvodnění keramické směsi

Pokud keramické výrobky nejsou vyráběny z břecčky, je nutné po mletí následné odvodnění keramické suspenze. Vysušení se provádí kalolisováním nebo rozprašováním.

Kalolisování je odvodnění suspenze tlakovou filtrací, přes tkaninový filtr, za vzniku filtračního koláče. Princip vysušování rozpraškováním spočívá v tom, že je keramická suspenze rozprašována v proudu teplého vzduchu, vzniká granulát, jehož velikost i vlhkost lze regulovat.

### 3.3. Tvarování keramiky

#### Způsoby tvarování keramiky:

- Lití
- Plastické tvarování
- Lisování

#### Lití z keramických suspenzí

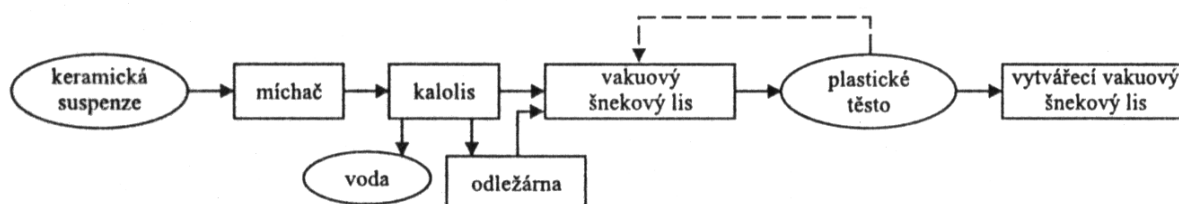
Rozlišujeme lití vodných (disperzním činidlem je 25% až 40% vody) nebo nevodných suspenzí (disperzním činidlem je nepolární kapalina).

Lití tekutých suspenzí, tzv. keramické břechky, musí mít minimální mez toku a vysokou tekutost při nízkém obsahu vody. Nesmí docházet k shlukování částic. Pro dosažení těchto optimálních vlastností se používají ztekucovala, jako je soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) a vodní sklo ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Lití se provádí nejčastěji do sádrových forem a to buď na střep, či na jádro.

Nevodné suspenze jsou složeny z pojiva (např. parafin), neplastické suroviny a plastifikátoru (např. olej). Směs je homogenizovaná při teplotě 70-100 °C a následně litá pod tlakem. V průběhu výpalu organická složka vyhoří, či se vypaří. Tato metoda se používá například pro výrobu korundových výrobků. [14]

#### Plastické tvarování

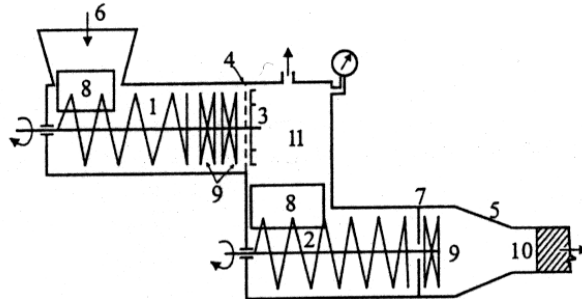
Keramické těsto, pro výrobu plastického tvarování, musí mít optimální vlhkost v celém objemu a musí být odplyněno. Tohoto stavu se docílí dostatečným odležením nebo promísením pomocí šnekového lisu.



Obr. č. 11: Schéma přípravy plastického těsta z kalousových koláčů [4]



Plastické tvarování se provádí nejčastěji pomocí vakuového šnekového lisu, na jehož konci může být umístěno síto, které vytváří dutiny v konečném výrobku. Z lisu vychází pás vytvarovaného keramického těsta, který se následně řeže na rozměry konečných produktů, či meziproductů, dále upravovaných například lisováním nebo mechanickým opracováním.



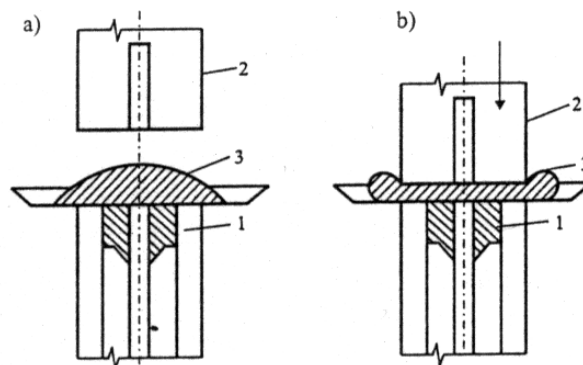
Obr. č. 12: Schéma vakuového šnekového lisu- 1) míšící šnek, 2) lisovací šnek, 3) odřezávací rozeta ve vakuové komoře, 4) protlačovací síto, 5) lisovací hlava, 6) podávací otvor, 7) proti nože, 8) podávací válec, 9) koncová hlava šneku, 10) ústí lisu, 11) vakuová komora [4]

Dalšími druhy plastického tvarování jsou vytáčení a tvarování z práškových směsí. Vytáčení je metoda využívaná k výrobě užitkového porcelánu. Jedná se o automatizovaný hrnčířský kruh. Práškové směsi jsou složeny z keramické hmoty, vody a organického plastifikátoru. Slouží pro výrobu tvarově náročných produktů.

### Lisování keramických směsí

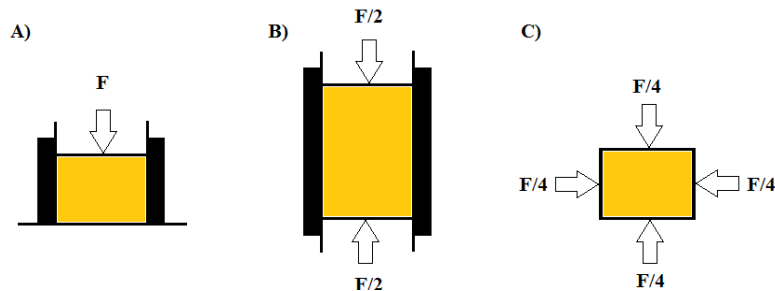
Lisování může rozdělit, dle způsobu tvarování, na přetokové, pístové a izostatické. Speciálním druhem lisování je žárové lisování, prováděné při teplotě 1200 – 2000 °C za vysokého tlaku.

Princip přetokového lisování keramické směsi s vlhkostí 15 – 21 % je v působení lisovacího tlaku na směs s přebytkem v otevřených formách.



Obr. č. 13: Schéma znázornění přetokového lisování s přebytkem vlhké směsi- a) zaplnění lisovací formy přebytkem směsi, b) fáze lisování před uzavřením formy, 1) forma, 2) lisovník, 3) lisovací směs [4]

Pístové lisování je lisování práškové keramické směsi s nízkým nebo nulovým obsahem vlhčiva, do pístově uzavřených kovových forem [4]. Lisovací síla na keramickou směs působí jednostranně, dvoustranně nebo izostaticky.



Obr. č. 14: Schéma působení lisovací síly na keramickou směs- A) jednostranné, B) dvoustranné, C) izostatické

Izostatické lisování se provádí v pryžových formách, vložených do tlakových nádob se vzduchem, či kapalinou. Rozlišujeme tedy suché nebo mokré lisování, podle toho jaké médium působí na pryžovou formu. Díky všesměrnému lisování vznikají produkty s vysokou objemovou hmotností (tenkostěnné a jakostní výrobky).

### 3.4. Sušení keramiky

Sušení je proces, jehož cílem je odstranění volné vody ze vzniklého meziproduktu. Jedná se o energeticky náročnou fázi, při které je nutné volit optimální průběh sušení a to tak, aby nedocházelo ke vzniku pnutí v produktu, které by mohlo způsobit jeho narušení (smrštění tělesa tvarovaného z plastického jílového těsta je 0,5 – 12 %).

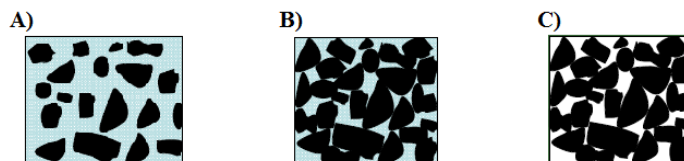
Vlhkost materiálu:

$$W = \frac{m_w - m_s}{m_s} * 100 \quad [\%] \quad (1)$$

kde:

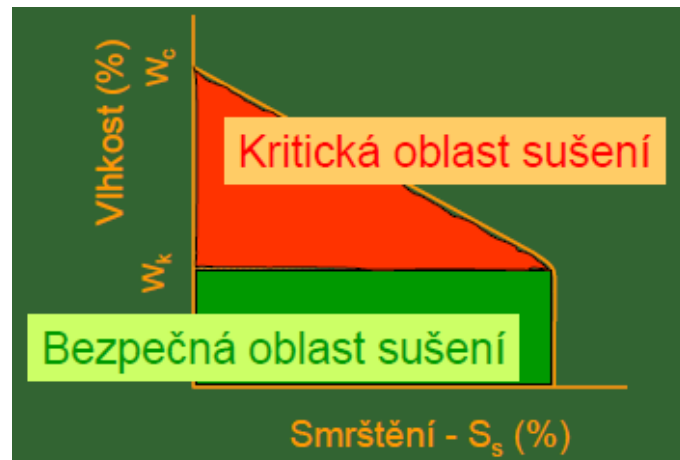
$m_s$  ..... hmotnost suchého vzorku [g]

$m_w$  ..... hmotnost vlhkého vzorku [g]



Obr. č. 15: Průběh sušení v sušárně- A) voda tvoří souvislé vrstvy, které oddělují pevné částice od sebe, B) zrna hmoty se vzájemně dotýkají, voda vyplňuje prostor mezi zrny, C) voda není obsažena ani v pórech [14]

Chování vytvarovaného keramického těsta při sušení, lze popsat pomocí tzv. Bigotovy křivky, která zobrazuje závislost smrštění na vlhkosti. Z Bigotovy křivky lze určit kritickou vlhkost  $W_k$ , celkové smrštění  $S_c$  a koeficient citlivosti k sušení  $k_c$ .



Obr. č. 16: Bigotova křivka [14]

*Smrštění sušením:*

$$S_s = \frac{l_0 - l}{l_0} * 100 \quad [\%] \quad (2)$$

kde:

$l_0$  ..... počáteční délka tělesa [mm]

$l$  ..... délka tělesa při zjištěné vlhkosti [mm]

*Koeficient citlivosti k sušení [14]:*

$$k_c = \frac{W_c}{W_k} \quad (3)$$

kde:

$W_c$  .....vlhkost kritická [%]

$W_k$  ..... vlhkost celková [%]

$k_c < 1,2$  → materiál málo citlivý k sušení

$k_c = 1,2 - 1,7$  → materiál středně citlivý k sušení

$k_c > 1,7$  → materiál citlivý k sušení

### 3.5. Výpal keramiky

Poslední fází výroby keramických materiálů je jejich výpal. Jedná se o energeticky nejnáročnější fázi, při které se formují konečné vlastnosti produktu. V průběhu procesu nastává řada chemických a fyzikálních reakcí, popsaných v tabulce č.1.

**Tabulka č. 1: Přehled základních procesů při výpalu keramické směsi s obsahem jílu, křemene a živce, ve fázi ohřevu [4]**

Proces	Teplotní úsek (°C)
vypařování fyzikálně vázané vody	< 300
dehydroxidace jílových minerálů	450 - 700
spalování organických příměsí a uhlíku usazeného ve střepu	300 - 1040
průběh vratných a nevratných modifikačních přeměn, rozklad síranů, uhličitánů, oxidů a dalších příměsí	400 - 1000
reakce složek v pevném stavu	500 - 1050
tvorba skelné fáze	> 900
nukleace a krystalizace nových fází	> 1000
slinování některých fází v tavenině	> 1100
rozpuštění některých fází v tavenině	> 1100

### Dehydroxidace jílových minerálů

Důležitou částí procesu vypalování je dehydroxidace, jejíž součástí je vznik vodních par. Dehydroxidaci lze velmi dobře popsat na minerálu kaolinitu, viz rovnice č.1. Při dehydroxidaci kaolinitu dochází ke smršťování prvku a tedy vzniku pnutí a snižování pevnosti střepu.

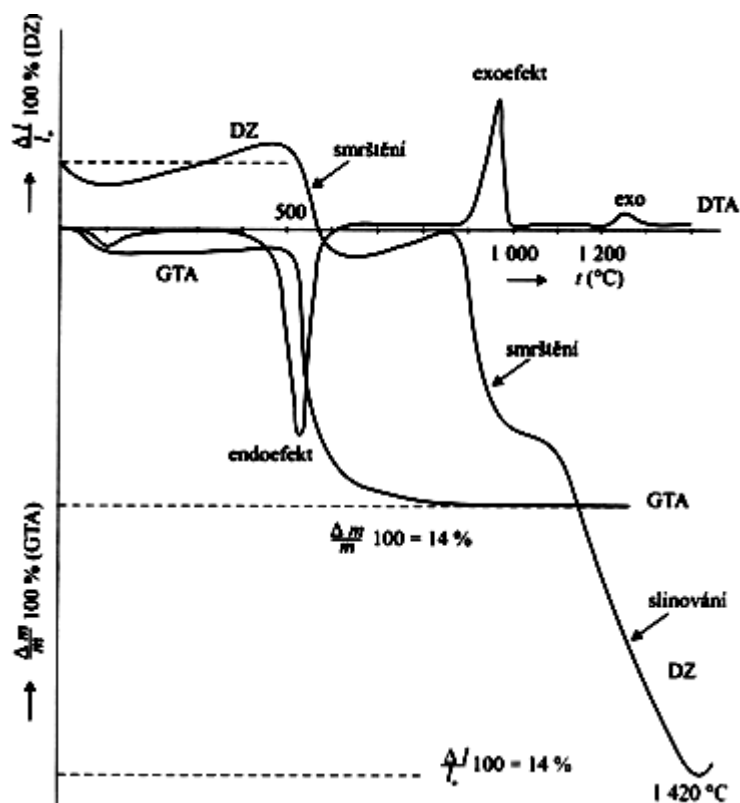
*Dehydroxidace kaolinitu na metakaolinit a vodu (endotermní reakce):*



**Tabulka č. 2: Dehydroxidace jílových minerálů [4]**

Jílové minerály	Rozklad v intervalu teplot $\Delta t$ (°C)	Nekrystalické fáze $\Delta t$ (°C)
kaolinitické jily		
kaolinit	450 - 600	metakaolinit (600 - 950)
illit	500 - 600	
montmorillonit	600 - 750	
Dehydroxidované formy	exotermní reakce $\Delta t$ (°C)	vznik nových krystalických fází $\Delta t$ (°C)
metakaolinit	950 - 1050 945 - 1000	mullitová fáze cristobalit
dehydroxidovaný illit	850 - 950	spinelová fáze a skelná fáze
dehydroxidovaný montmorillonit	900 - 1000	spinelová fáze a skelná fáze

Chování jílových minerálů při výpalu velmi dobře zobrazuje termografická analýza. Ta je reprezentována diferenční termickou analýzou DTA, gravimetrickou termickou analýzou GTA a měřením délkových změn při výpalu DZ. Tyto metody také slouží k identifikaci jílových minerálů. [4]

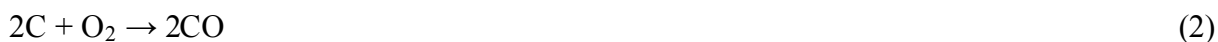


Obr. č. 17: Termografická analýza vzorku kaolinitu [4]

### Vyhořívání organických složek

Organické prvky, různého druhu a množství, jsou běžnou součástí jílových zemin. Při výpalu dochází k vyhořívání těchto příměsí. Pokud vznikne redukční atmosféra, nedojde k vyhořívání uhlíku, což vede ke vzniku tzv. černého jádra.

*Při vyhořívání organických látek mohou probíhat následující reakce [4]:*



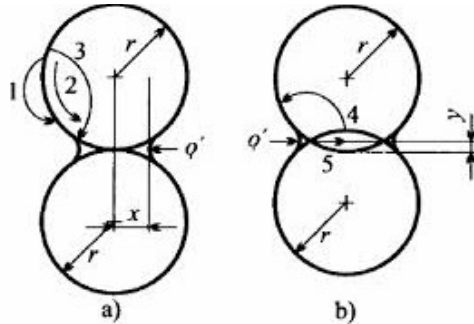
### Slinování

Další důležitou fází výpalu je slinování. Jedná se o proces, při kterém dochází k snižování povrchové energie částic, srůstu částic a k formování výsledných vlastností produktu.

Teoreticky by mělo dojít ke vzniku monokrystalu, tedy soustavy s nejnižší povrchovou energií, čemuž zabraňují póry, nečistoty a poruchy prvku. Reálně při slinování vzniká určité seskupení velikosti zrn.

Rozlišujeme dva druhy slinování:

- A) Bez smrštění- vytvoření krčku nastává, aniž by docházelo k vzájemnému přibližování středu částic
- B) Se smrštěním- při vzniku krčku se středy částic vzájemně přibližují



Obr. č. 18: Model slinování dvou kulových částic bez přítomnosti kapalně fáze- A) Bez smrštění, B) se smrštěním, 1- vypařování a kondenzace, 2- povrchová difuze, 3- vnitřní difuze z povrchu, 4- objemová difuze, 5- hraniční difuze [4]

Stádia slinování [14]:

- 1) Stadium - vznik krčku mezi zrny
  - zrna nemění svůj počet, svoji velikost ani strukturu
- 2) Stadium - nastává lineární smrštění
  - roste krček
  - klesá pórovitost
  - začíná proces dodatečného růstu zrn a vznikají kanálkovité póry
  - stádium končí tvorbou uzavřených pórů
- 3) Stadium - dochází k další tvorbě uzavřených pórů, tyto póry se postupně zmenšují
  - zvyšuje se rychlost růstu zrn
  - dále mohou nastat dvě varianty
  - a) s růstem zrn dochází téměř k úplnému vymizení pórovitosti, objemová hmotnost se přibližuje k hustotě
  - b) některá zrna rostou tak rychle, že dojde k zarůstání pórů do těchto zrn, póry z těchto zrn již není možné z materiálu odstranit, objemová hmotnost materiálu je nižší, než jeho hustota

Slinování za přítomnosti taveniny:

Slinování za přítomnosti taveniny je nejvyužívanější způsob slinování, dochází ke vzniku taveniny z vícesložkové keramiky za slinovacích teplot. Hlavními faktory

ovlivňujícími průběh slinování jsou povrchové napětí, velikost zrn a viskozita. Důležitým procesem tohoto slinování je dokonalé zhutnění směsi, což má za následek nízký objem pórů.

Předpoklady dokonalého zhutnění [10]:

- Dostatek taveniny (20-50%), aby zrna byla taveninou obalena
- Pevná fáze se musí úplně smáčet taveninou
- Pevná fáze se částečně rozpouští v tavenině
- Nízký velký difúzní koeficient nebo viskozita v tavenině

## 4. Druhy zděných konstrukcí

Za zděnou konstrukci považujeme konstrukci vyzděnou ze zdících prvků, za pomoci malty. Zdícím prvkem pak může být cihlářský výrobek, kámen či betonová tvárnice.

Základní zdící prvky pro zděné konstrukce [20]:

- Pálené zdící prvky
- Vápenopískové cihly
- Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem
- Pórobetonové tvárnice
- Zdící prvky z umělého kamene
- Pravidelné zdící prvky z přírodního kamene

### 4.1. Rozdělení zděných konstrukcí

Dle únosnosti:

- Nosné zděné konstrukce- přenášejí zatížení do základů objektu
- Nenosné zděné konstrukce- nepřenášejí zatížení do základů objektu, slouží jako výplňová konstrukce či k rozdělení objektu na jednotlivé místnosti

Dle typu nosné zděné konstrukce:

- Stěna- výška a délka stěny je větší, než tloušťka stěny
- Sloup- výška sloupu je větší, než půdorysné rozměry sloupu
- Pilíř- výška pilíře je větší, než půdorysné rozměry pilíře, součástí pilíře není hlavice ani patka

Dle použité malty pro zdění:

- Malta vápenná ze vzdušného vápna- vhodná pro zdění málo namáhaného zdiva, v suchém prostředí
- Malta vápenná z hydraulického vápna- vhodná pro zdění ve vlhkém prostředí
- Malta vápenocementová- vhodná pro zdění více namáhaného zdiva
- Malta cementová- vhodná pro zdění velmi namáhaného zdiva



## 4.2. Zdivo kamenné

Kámen patří mezi nejstarší stavební materiály. Jedná se o přírodní materiál vyskytující se v řadě historických konstrukcí. V dnešní době je zdění z kamene výjimečnou záležitostí a to zejména z důvodu jeho vysoké hmotnosti, náročné opracovatelnosti, pracnosti při vyzdívání a nevhodným tepelně izolačním vlastnostem.

Při vyzdívání z kamene se nejčastěji používá neopracovaný lomový kámen nebo opracované kamenné bloky (haklíky, kopáky, kvádry). Zdí se za pomoci vápenocementové či cementové malty.

### Zdivo z lomového kamene

Nejčastější využití nachází u vyzdívání soklů, opěrných zdí a základových konstrukcí. V historických stavbách se vyskytuje i jako zdivo nosné.

Vazba zdiva je zajištěna prostřednictvím vazáků, které u zdí tlustých 450 až 600 mm procházejí celou stěnou, u tlustších stěn se zavazují co nejhlouběji do zdiva [5].



Obr. č. 19: Zdivo z lomového kamene [42]

### Zdivo kyklopské

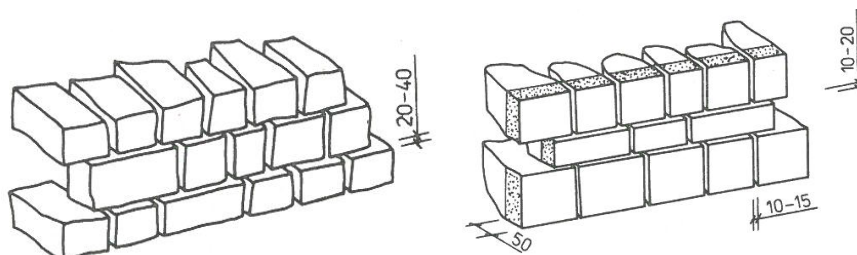
Jedná se o zdivo tvořené z opracovaného kamene do nepravidelných čtyř až šesti úhelníků. Své uplatnění nachází nejčastěji, díky své estetice, u soklů, opěrných a nábrežních zdí. Jeho typickým znakem je styk maximálně tří spár v jednom bodě.



Obr. č. 20: Zdivo kyklopské [39]

### Zdivo řádkové

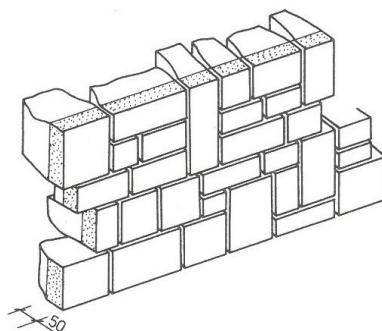
Provádí se z hrubě či čistě opracovaných kamenů stejné výšky, tzv. kopáků. Rozlišujeme tedy hrubé řádkové zdivo (ložné i styčné spáry tloušťky 20-40 mm, styčné spáry mohou být šikmé) a čisté řádkové zdivo (ložné a svislé styčné spáry tloušťky 10-20 mm).



Obr. č. 21: Zdivo řádkové hrubé (vlevo), zdivo řádkové čisté (vpravo) [29]

### Zdivo haklíkové

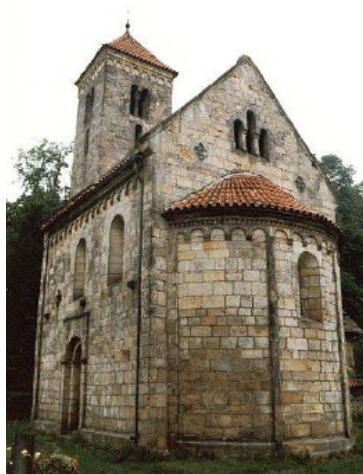
Jde o svisle provázané řádkové zdivo, zděné stejně jako běžné řádkové zdivo z kopáků. Svislé kameny jsou na výšku dvou nebo tří vrstev [5].



Obr. č. 22: Zdivo haklíkové [29]

### Zdivo kvádrové

Jedná se o zdivo složené z opracovaných kamenů, tzv. kvádrů, s předem stanovenými rozměry, využívané především pro sokly a obklady. Šířka spár se pohybuje od 10 do 20 mm.



Obr. č. 23: Zdivo kvádrové [23]

### 4.3. Cihelné zdivo

Jedná se o nejpoužívanější materiál pro zdění a to zejména díky dostatečné únosnosti, mrazuvzdornosti, nízké nasákavosti a cenové dostupnosti. V současné době se vyzdívá převážně z cihelných bloků, použití cihel plných, děrovaných či vápenopískových nastává jen zřídka. Pro spojení jednotlivých prvků se využívají lepidla, malty i polyuretanové pěny.



Obr. č. 24: Cihla plná pálená [22]

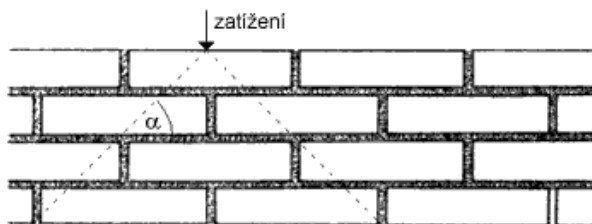


Obr. č. 25: Cihla vápenopísková [41]



Obr. č. 26: Cihla děrovaná [43]

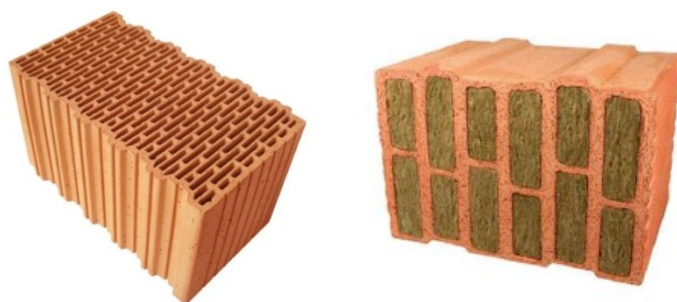
Z hlediska únosnosti cihelné zděné konstrukce je jednak důležitá pevnost keramického výrobku a spojovacího prostředku, ale také provázanost zdiva a kvalita provedených prací. Mezi nejčastější vazby zdiva patří vazba běhounová a vazáková, z estetického hlediska se můžeme setkat také s vazbou křížovou a polokřížovou. U zdiva je důležité, aby styčné spáry nebyly průběžné přes sousední vrstvy nad sebou, z důvodu roznášení zatížení.



Obr. č. 27: Roznesení tlaků ve zdivu při převázání o půl cihly [29]

#### Cihelné bloky

Cihelné prvky větších rozměrů, snižující pracnost zdění, hmotnost prvků díky vylehčení dutinami a zlepšující tepelně technické vlastnosti. Styčné spáry jsou zpravidla řešeny na pero drážku. Rozměry výrobku se liší dle výrobce (například Wienerberger, Helutz), s délkou dle nejčastějších tloušťek stěn (například 450 mm, 400 mm, 375 mm).



Obr. č. 28: Cihla POROTHERM [39, 36]

#### 4.4. Zdivo z betonových tvárnic

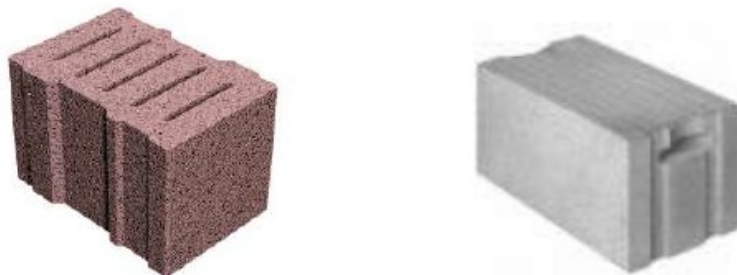
Tvárnice vyráběné z lehkého nebo hutného betonu, v některých případech vylehčené dutinami. Uplatnění nachází jednak jako zdivo nosné či nenosné, plotové zídky, ale také jako ztracené bednění. Díky vylehčení tvárnice se jedná o poměrně dobrý tepelně izolační materiál, tuto vlastnost lze podpořit kombinací betonových tvárnic a izolačních materiálů (izolační vrstvené betonové tvárnice).



Obr. č. 29: Tvárnice z pórobetonu s integrovanou izolací [36]

Betonové bloky se kladou stejně jako bloky cihelné a to na vazákovou nebo běhounovou vazbu, styčné spáry jsou nejčastěji řešeny pomocí spoje na pero drážku.

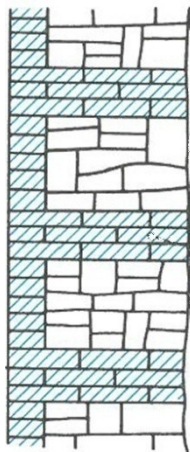
Tvárnice z lehkého betonu se vyrábí za pomoci expandovaného keramického granulátu (například keramzit, liapor) nebo pórobetonu (vylehčení pomocí plynotvorné přísady), dalšího stupně vylehčení a zlepšení tepelně izolačních vlastností, dosahují případným systémem dutin. Jejich nevýhodou je nižší únosnost, oproti tvárnici z hutného betonu, které se provádí jako dutinové vibrolisované výrobky.



Obr. č. 30: Tvárnice z lehkého betonu- liapor beton (vlevo), pórobeton (vpravo) [36]

#### 4.5. Smíšené zdivo

Zdivo tvořené minimálně dvěma materiály, nejčastěji kombinací cihel nebo betonu a kamene. Z důvodu velké pracnosti se používá jen minimálně, jeho výhodou je využití vlastností různých materiálů.



*Obr. č. 31: Smíšené zdivo- kombinace plných pálených cihel a lomového kamene [29]*

## 5. Vady a poruchy zděných konstrukcí

Za poruchu konstrukce považujeme změnu konstrukce oproti jejímu původnímu stavu, která může vzniknout jak v procesu realizace či užívání. Vada konstrukce je nedostatek vzniklý v procesu návrhu nebo realizace.

Mezi příčiny vad a poruch stavby, řadíme například [35]:

- Nedostatek projektu (nevhodné umístění objektu, špatně zvolený stavební materiál, chyby ve výpočtech, nedostatečné zkušenosti projektanta, atd.)
- Nekvalitně provedené práce v období výstavby (nedodržení stavebních postupů, použití nekvalitních materiálů, nedodržení projektu, netolerování teplot výstavby, atd.)
- Změny podmínek užívání
- Nedostatečná údržba
- Nevhodné úpravy objektu
- Chemické, mineralogické a biologické procesy

Poruchy a vady se následně na zděné konstrukci projevují nejčastěji výskytem trhlin a zvýšenou vlhkostí, což následně vede ke ztrátám pevnosti a k zhoršení hygienického a technického stavu objektu.

### 5.1. Trhliny zděných konstrukcí

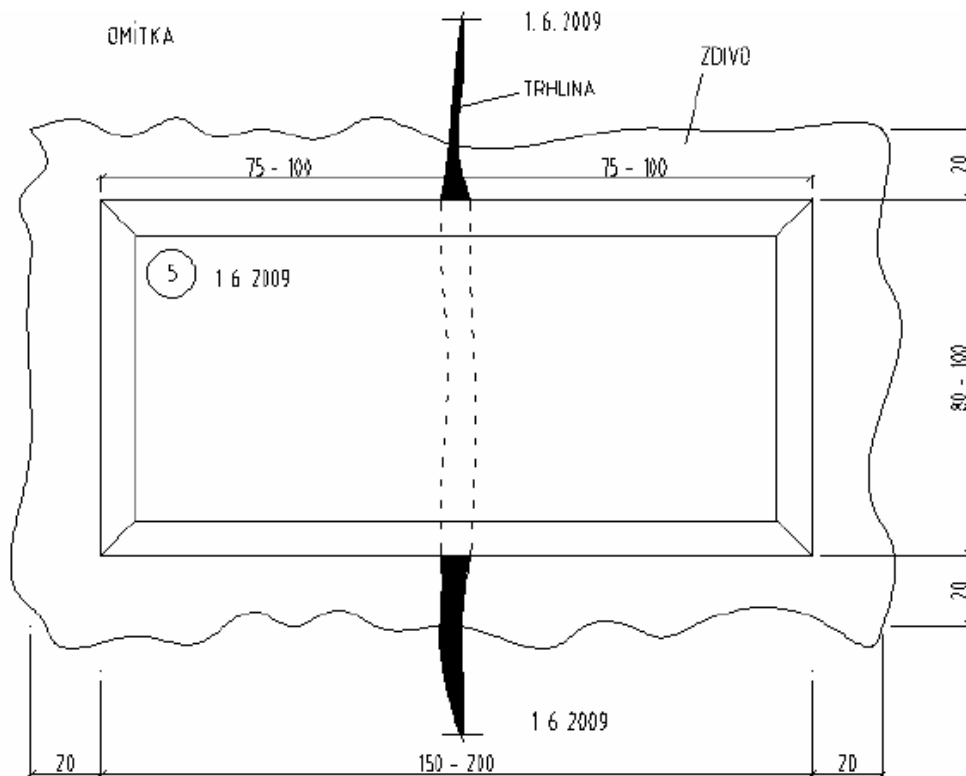
Trhliny jsou viditelným zobrazením určité poruchy či vady objektu. Jejich výskyt na konstrukci by měl vést k okamžitému zájmu o příčinu vzniku trhliny a nápravu tohoto problému a následnou sanaci samotné trhliny.

Příčinou vzniku trhlin ve zdivu může být, například:

- Překročení meze pevnosti zdícího materiálu či malty
- Dynamické zatížení
- Nerovnoměrné sedání stavby
- Promrzání základové půdy
- Chybějící ztužení stavby
- Chemické a biologické procesy
- Objemové změny

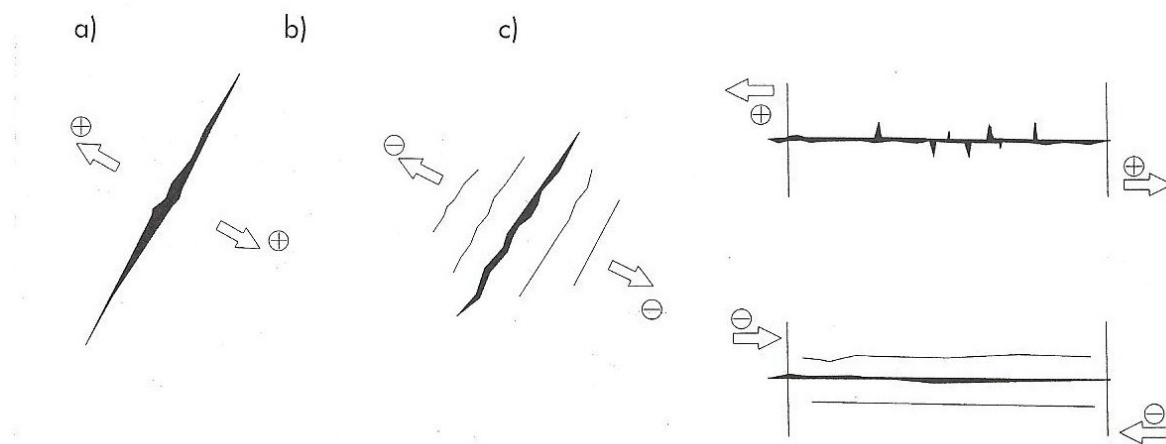
## Druhy trhlin

Dle pohybu lze trhliny rozdělit na aktivní a pasivní. Aktivní trhlina, oproti pasivní, mění v průběhu času své rozměry, tedy vykonává určitý pohyb. Tento pohyb se projevuje do 1 roku a sleduje se nejčastěji pomocí sádrových destiček, úchylkoměrů či deformetrů.



Obr. č. 32: Provedení sádrové destičky [24]

Z hlediska vzniku trhliny, rozeznáváme trhliny tahové, tlakové a smykové. Tahová trhlina vzniká překročením meze pevnosti v tahu, je typická rozevřením uprostřed a neporušenými okraji. Tlaková trhlina vznikla překročením pevnosti materiálu v tlaku, v místě trhliny dochází k drcení materiálu nebo odlupování omítky. Důsledkem působení protisíl vznikají trhliny smykové, dochází tedy k posunu a drolení okrajů trhliny.



Obr. č. 33: a- trhlina tahová, b- trhlina tlaková, c- trhlina smyková [15]



Dále lze trhliny rozdělit na trhliny závažné a neškodné. Trhliny neškodné neovlivňují statiku objektu, jsou pouze vzhledovým kazem konstrukce. Vznikají nejčastěji smrštěním v procesu vysychání. Závažné trhliny ovlivňují statiku konstrukce, ve většině případu se jedná o trhliny aktivní. Závažnost trhliny klasifikuje norma ČSN 73 0040 a to z hlediska poškození objektu (viz. tabulka č. 3).

**Tabulka č. 3: Stupeň poškození objektu [19]**

Stupeň poškození	Popis poškození
0	Bez poškození. Nevznikají žádná viditelná poškození. Funkce objektů, jako např. vodotěsnost nádrží apod. jsou plně zachovány.
1	První známky poškození, trhliny do šířky 1 mm na styku stavebních prvků (ve stropních fabionech)
2	Lehká rozrušení s malými škodami. Trhliny šířky do 5 mm v omítkce, příčkách, v komínovém zdivu, opadávání omítky, uvolnění krytiny.
3	Střední rozrušení s vážnými škodami. Stabilita není ohrožena. Trhliny širší než 5 mm v příčkách i v nosných zdech, opadávání krytiny a částí komínů.
4	Značné rozrušení s nebezpečnými škodami. Trhliny v nosných zdech a překladech ohrožující jejich statickou funkci. Zřícení příček výplňového zdiva a komínů. Trhliny v prostém betonu. Porušení stability.
5	Úplné rozrušení a destrukce. Zřícení cihelných staveb, nebo jejich částí s hlavními nosnými prvky. Trhliny i v železobetonu.

### Sanace zdiva

Správnému návrhu sanačního opatření musí předcházet dostatečný stavební průzkum, se zaměřením na příčinu vzniku trhliny, množství, polohu, stáří, pohyb a také geometrický popis trhliny (šířku, hloubku, délku).

Druh sanace je přímo závislý na druhu trhliny. Před aplikací sanační metody musí být odstraněna příčina vzniku této trhliny. Mezi základní sanační metody patří injektáž, hloubkové spárování, šití trhlín, přezdívání, zesílení základů, úprava podloží a další.



## 5.2. Vlhkost zděných konstrukcí

V průběhu své životnosti je objekt vystaven působením řady vnitřních i vnějších činitelů, působících jako zdroj vlhkosti. Následkem těchto vlivů dochází k výskytu vody a vodní páry v konstrukci, což má za následek zvýšení rychlosti degradace a zhoršení vlastností materiálu.

Příčinou pronikání vlhkosti (vody) do zdiva může být, např.:

- Nefunkční či chybějící hydroizolační vrstva mezi nadzemní a podzemní částí konstrukce
- Špatně navržené dodatečné opatření
- Nekvalitní provedení hydroizolačních opatření
- Nevhodně zvolený materiál
- Změny podmínek užívání nebo vnější vlivy
- Složité nebo podceněné hydrogeologické podmínky

Vlhkost nám udává poměr hmotnosti vody, k hmotnosti suchého vzorku. Hodnotu vlhkosti získáváme za pomoci diagnostických metod, destruktivních a nedestruktivních. Mezi nejčastěji užívané metody patří metoda gravimetrická, karbidová nebo také odporový či kapacitní vlhkoměr.

Norma ČSN P 73 0610 klasifikuje vlhkostní hmotnost takto [15]:

$w_h < 3 \%$ hmotnosti	– vlhkost velmi nízká
$3 \% < w_h < 5 \%$ hmotnosti	– vlhkost nízká
$5 \% < w_h < 7,5 \%$ hmotnosti	– vlhkost zvýšená
$7,5 \% < w_h < 10 \%$ hmotnosti	– vlhkost vysoká
$w_h > 10\%$ hmotnosti	– vlhkost velmi vysoká

### Projevy vlhkosti

Prvním příznakem vlhkostních problémů objektu je obvykle porušení pohledové vrstvy stěny, tedy odlupování omítky či nátěru. Při narušení konstrukce vlivem vodorozpustných solí, jako jsou sírany, chloridy, dusičnany a uhličitany, dochází ke vzniku výkvětů a výluh [1].

## Důsledky vlhkosti

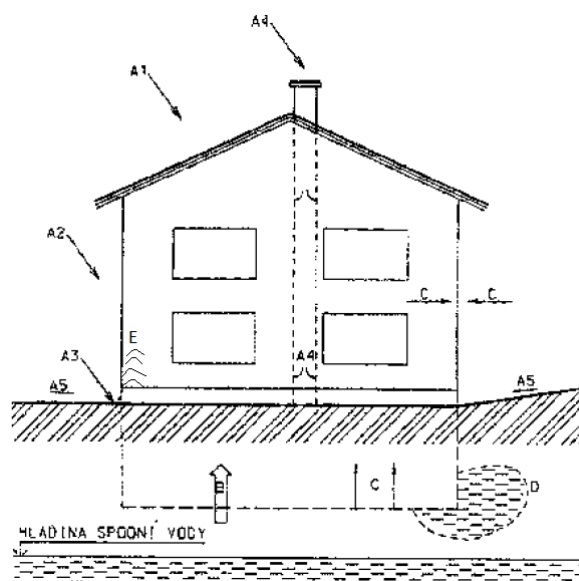
Vlivem působení vody a vodní páry na stavební konstrukci, dochází k narušení stavebního materiálu (rozpad omítkových vrstev, rozpad pojiva, narušení cihel) a biologickému znehodnocení objektu (vznik plísní).

## Sanace vlhkého zdiva

Cílem sanačních opatření je snížit nežádoucí obsah vody v materiálu (resp. konstrukci), v plynném nebo kapalném skupenství. Principiálně se jedná o zabránění průniku vody do konstrukce, odstranění vody (vodní páry) z konstrukcí, snížení vnitřní vlhkosti vzduchu nebo zlepšení tepelně izolačních vlastností jednotlivých konstrukcí.

Pro sanaci vlhkého zdiva se užívá kombinace hydroizolačních metod přímých a nepřímých, doplněných o potřebná technická opatření.

### 5.2.1. Zdroje vlhnutí zdiva



Obr. č. 34: Zdroje vlhnutí zdiva [7]

## Voda srážková

- Za vodu srážkovou považujeme vodu, která působí na konstrukci vlivem deště.
- Rozlišujeme pět typů působení srážkové vody:
  - voda srážková působící na střešní konstrukci- na obrázku označena A1
  - voda srážková hnaná větrem- na obrázku označena A2
  - voda srážková odšťikující- na obrázku označena A3
  - voda srážková pronikající komínovými průduchy- na obrázku označena A4
  - voda srážková povrchová- na obrázku označena A5

### Voda vzlínající

- Vodou vzlínající označujeme vodu působící na objekt ze zeminy.
- Narušení objektu vlivem vzlínající vlhkosti je závislé na hladině podzemní vody, na funkčnosti hydroizolace objektu, na kapilaritě a propustnosti zeminy a samozřejmě na nasákavosti použitého stavebního materiálu.
- Voda vzlínající je na obrázku označena písmenem B.

### Voda kondenzující

- Vodou kondenzující rozumíme vodu vzniklou kondenzací, kdy dochází k poklesu vnitřní teploty konstrukce pod teplotu rosného bodu, dojde k přeměně vodní páry na vodu kapalnou.
- Ke kondenzaci dochází jak v podzemních tak i nadzemních částech stavby. Nejčastěji se kondenzace projevuje v místech tepelných mostů.
- Voda kondenzující je na obrázku označena písmenem C.

### Voda působící hydrostatickým tlakem

- Za vodu působící hydrostatickým tlakem považujeme vodu, která proniká do konstrukce vlivem gravitace. Při výskytu většího množství vody dochází k vsakování vody do zeminy, pokud však tato voda narazí na méně propustnou vrstvu, dojde k pronikání vody do propustnějších vrstev. Často dochází k pronikání vody do konstrukce v místech nekvalitní hydroizolace.
- Voda působící hydrostatickým tlakem je na obrázku označena písmenem D.

### Hygroskopicitu staveních materiálů

- Hygroskopicitu se projevuje u materiálu s vysokým obsahem solí s hygroskopickými vlastnostmi. Následně dochází k přijímání vlhkosti ze vzduchu.
- Vznik hygroskopických solí způsobuje vzlínající tvrdá voda, v zimním období odšťikující nasolená voda, dále také kyselá dešť.
- Voda hygroskopická je na obrázku označena písmenem E.

### Voda z rozvodů instalací

- Tento zdroj vody v konstrukci nastává při poruše některého z rozvodů instalací.
- Rozeznáváme buď výskyt vody způsobený náhlou havárií či postupné zavlhčování konstrukce způsobené například netěsností spojů instalačních rozvodů.

### Technologická voda

- Technologickou vodou rozumíme vodu zabudovanou při stavebních pracích do konstrukce. Postupem času dochází k odpařování této vody z konstrukce.

## 6. Stavebně technický průzkum historických staveb

Cílem stavebně technického průzkumu je diagnostikovat geometrické, konstrukční a materiálové charakteristiky objektu a vady a poruchy, které ohrožují únosnost, použitelnost nebo funkčnost objektu (nebo jeho části). Stavebně technický průzkum dělíme na předběžný a podrobný (doplňkový průzkum).

U památkově chráněných objektů musíme brát ohled na zachování historické hodnoty. Při návrhu obnovy a rekonstrukce těchto objektů, se zpravidla před stavebně technickým průzkumem, provádí stavebně historický a architektonický průzkum. Tento průzkum se zaměřuje na dějiny stavby, vývoj stavby a konstrukcí a stavebně - historické hodnocení, za použití pokud možno nedestruktivních metod [16]. Při nutnosti destruktivního zásahu do konstrukce je nutné předchodí schválení příslušného pracoviště památkové péče.

### Předběžný stavebně technický průzkum

Zaměřuje se na zjištění základních údajů o objektu a to z hlediska provozního využívání, stavebních úprav, návaznosti objektu na okolí a výčtu zjištěných vad a poruch. Při provádění předběžného i podrobného průzkumu památkových objektů se klade důraz na nedestruktivní zásahy do konstrukce, nesmí dojít k narušení nebo poškození památky. Průzkum směřujeme k získání informací o původním způsobu stavebního řešení objektu.

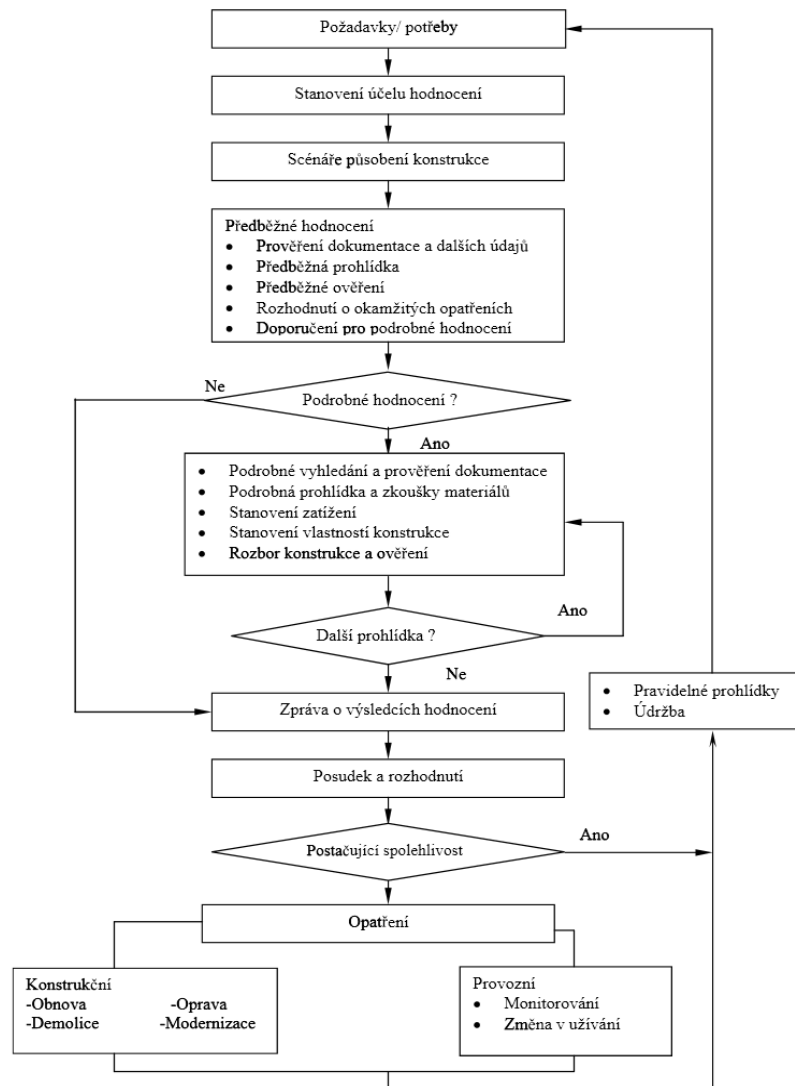
### Podrobný stavebně technický průzkum

Pokud pro určení příčiny vad a poruch nepostačuje předběžný průzkum nebo pokud mají vady a poruchy závažný charakter, provádíme podrobný stavebně technický průzkum. Jeho cílem je zpřesnění informací zjištěných předběžným stavebně technickým průzkumem. Zaměřuje se na stanovení příčin vad a poruch, fotodokumentaci stavu objektu, konkretizaci použitých stavebních materiálů a také na geologické a hydrogeologické podmínky. Provádí se za plného či částečně omezeného provozu, za pomoci nedestruktivních popřípadě destruktivních metod průzkumu. Zpracování informací podrobného stavebně technického průzkumu musí být dostatečným podkladem pro projekt sanace objektu, který by měl být u památkových objektů, pokud možno, zaměřen na obnovu původních stavebních řešení.

K upřesnění dalších nejasností plynoucích z předchozích stupňů průzkumů se provádí doplňkový stavebně technický průzkum. Realizuje se v omezeném provozu, většinou již při přípravách realizačních prací sanace, popřípadě současně s nimi.

Výsledkem stavebně technického průzkumu je zpráva obsahující [7]:

- Identifikační údaje objektu, objednatele a zhotovitele
- Zadání průzkumu
- Použité podkladové materiály
- Specifikace použitých přístrojů, způsob vyhodnocování konstrukce
- Popis objektu a jeho okolí
- Vyhodnocení vad a poruch objektu
- Návrh sanačních opatření či doporučení dalšího průzkumu



Obr. č. 35: Schéma postupu vyšetřování existující konstrukce [48]

## 7. Diagnostika zděných konstrukcí

Zděné konstrukce lze diagnostikovat pomocí zkoušek destruktivních, nedestruktivních a semidestruktivních. Dále rozeznáváme zkoušky prováděné na místě, tedy v terénu, nazývané jako zkoušky in situ a zkoušky laboratorní, prováděné ve stavebních laboratořích.

### 7.1. Destruktivní metody

Předností destruktivních metod je jejich přesnost, ve většině případů jsou výsledky destruktivních zkoušek přesnější než u zkoušek nedestruktivních či semidestruktivních. Hlavní nevýhodou těchto zkoušek je poškození zkoušeného materiálu nebo konstrukce, což je například u památkově chráněných budov nepřijatelné. Pomocí destruktivních metod můžeme určit vlastnosti vzorku, jako jsou například vlhkost, pórovitost, nasákavost, pevnost, objemovou hmotnost atd..

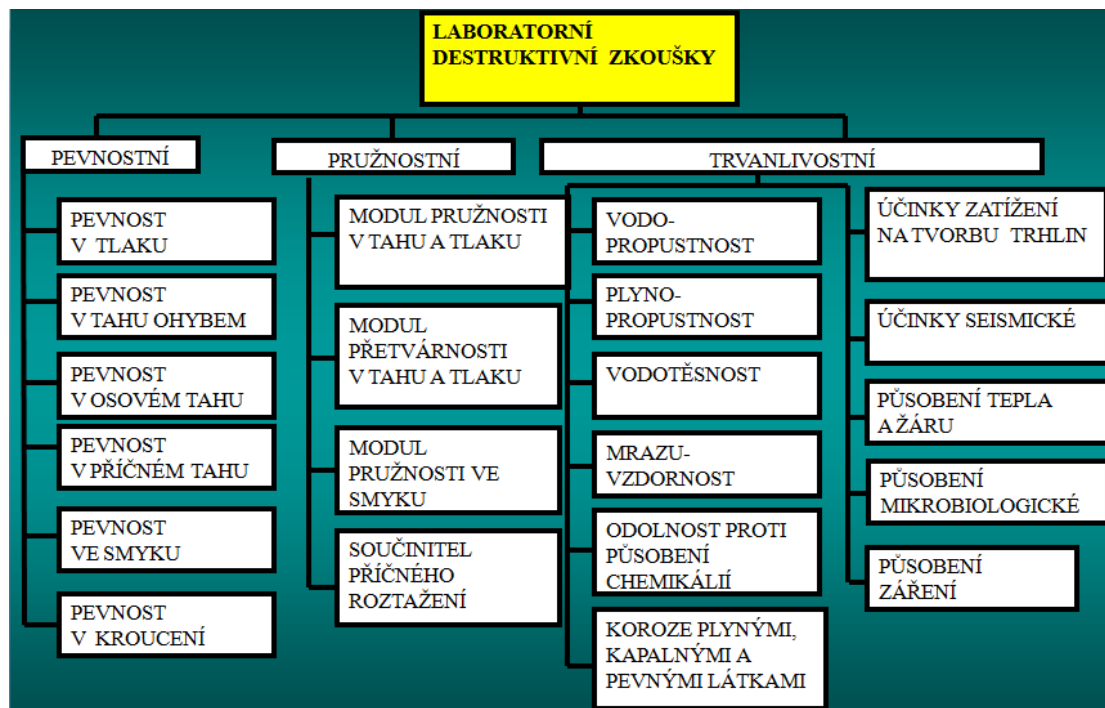
#### Jádrový vývrt

Jádrové vývrty se provádějí u zděných konstrukcí, ve kterých je problematické vyjmutí celého kusu staviva. Vrtání probíhá jádrovou vrtačkou, opatřenou korunkou s břity, o průměrech od 25mm až po 150mm.



*Obr. č. 36: Odběr jádrového vývrtu [30]*

Ihned po odběru vzorku je patrná materiálová struktura v daném místě a také stav materiálu. Další vlastnosti vzorku se určují v laboratoři a to zejména pevnost, pružnostní vlastnosti a trvanlivostní vlastnosti.



Obr. č. 37: Laboratorní destruktivní zkoušky [49]

### Odrhová zkouška

Odrhové zkoušky se provádí pro zjištění přídržnosti jednotlivých vrstev konstrukce a pro stanovení pevnosti v tahu materiálu. Ocelový kotouč, o průměru 50mm, se nalepí epoxidovým lepidlem na konstrukci. Po zaschnutí lepidla se terč pomocí závitu připevní k přístroji a postupným zatěžováním, stejnou rychlostí, dojde k odtrhnutí. Zkouška se provádí s prořezem, pomocí úhlové brusky či jádrové korunky, popřípadě bez prořezu.

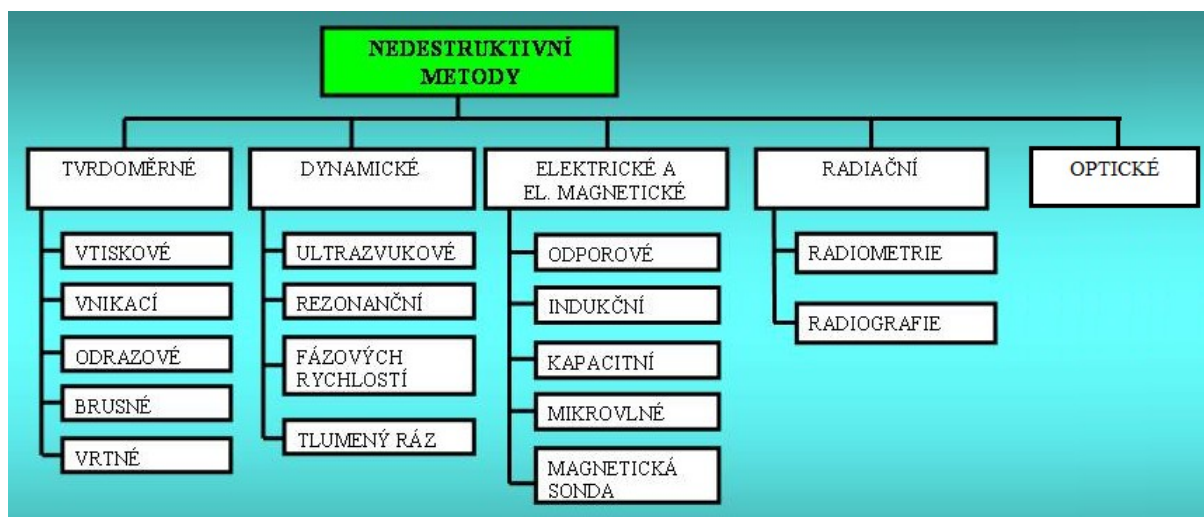


Obr. č. 38: Odrhová zkouška [40]



## 7.2. Nedestruktivní metody

Nedestruktivní zkoušky nenarušují konstrukci objektu, může dojít pouze k částečnému porušení, způsobenému například úpravou povrchu broušením. Jedná se tedy o zkoušky rychlé a opakovatelné. Díky svojí šetrnosti ke zkoumanému místu jsou vhodné pro památkově chráněné objekty.



Obr. č. 39: Nedestruktivní metody [49]

### Tvrdoměrné metody

Nedestruktivní metody sloužící pro určení jedné z nejdůležitějších vlastností materiálu, pevnosti. Výsledkem tvrdoměrných metod je hodnota tvrdosti, z které jsme schopni pomocí kalibračních vztahů určit pevnost materiálu. Dle typu zkušebního přístroje rozlišujeme metody vtiskové, vnikací, odrazové, brusné a vrtné.

### Dynamické metody

Jedná se o vyhodnocení mechanického vlnění šířícího se v materiálu. Nejvyžívanější metoda je ultrazvuková, sloužící pro určení homogenity materiálu, průzkum trhlin a stanovení dynamického modulu pružnosti.

### Elektrické a elektromagnetické metody [6]

Elektrické metody využívají elektrického odporu, stanovení kapacity nebo jiné elektrické vlastnosti u měřeného materiálu. Elektromagnetické pracují s elektromagnetickými vlastnostmi materiálu. Tyto metody slouží pro určení vlhkosti, deformací, teplot či hloubky výztuže.

### Radiační metody [6]

Jsou založeny na principu zeslabení ionizujícího záření v materiálu anebo moderaci rychlých neutronů na jádrech vodíku. K těmto metodám patří i měření přírodní radioaktivity a radonu v objektech.

Radiografické metody slouží například pro stanovení polohy výztuže, metody radiometrické pro určení objemové hmotnosti a vlhkosti materiálu.

### Optické metody

Jedná se o vizuální zhodnocení objektu, měření geometrických vlastností konstrukce a měření posunů, za pomoci endoskopů, úchylkoměrů, deformetrů, měřících lup, mikroskopů atd..

## **7.3. Semidestruktivní metody**

Jedná se o zkoušky, při kterých dochází k lokálnímu porušení zkoušeného prvku, nedochází však k narušení statiky ani funkčnosti konstrukce. Narušení zkoušeného prvku, semidestruktivní zkouškou, je lehce opravitelné a výsledné hodny přesnější než u zkoušek nedestruktivních.

### Stanovení pevnosti pomocí Kučero vi vrtačky

Zkouška je vhodná jak pro stanovení pevnosti malty, tak i pro určení pevnosti zdíčního prvku. Jedná se o zkoušku prováděnou na místě, pomocí upravených ručních či elektrických vrtaček. Princip spočívá v závislosti pevnosti na odporu proti vnikání vrtáků do materiálu. Výsledkem je hloubka navrtání, při stanovených otáčkách, z které pomocí kalibračních vztahů určíme pevnost.

### Vložení plochých lisů do prořezané stěny [37]

Metoda plochých lisů je založena na vložení plochého lisu do vyřezané spáry v maltovém loži. Plochý lis je vyroben obvodovým svařením dvou ocelových plechů, prostor mezi nimi je vyplněn hydraulickým olejem a je spojen hydraulickou hadičkou, přes zpětný ventil, s hydraulickou pumpou. Pumpováním oleje, mezi ocelové plechy lisu, se docílí oddalování obou plechů, které tlačí na přilehlou konstrukci (určení modulu pružnosti) nebo dorovnávají předem způsobenou deformaci konstrukce (určení napjatosti). Hodnota tlaku oleje v plochém lise, odečtená na manometru pumpy, se přepočte na napjatost.

## 8. Experimentální část – Vlastnosti historického zděného materiálu z objektu konventu Kláštera premonstrátů v Želivě

### Úvod

Želivský klášter se nachází v obci Želiv, ležící v kraji Vysočina. V tomto kraji spadá mezi nejvýznamnější památky svého druhu. Jeho cennost spočívá především v různorodosti slohů na relativně malé ploše (viz obr. č. 40). Významnou architektonickou hodnotu klášteru, dodalo také působení architekta Jana Blažeje Santiniho. V roce 2010 byl Želivský klášter zapsán na seznam národních kulturních památek.



Obr. č. 40: Letecký pohled na areál Želivského kláštera

Klášter je situován na západním konci obce Želiv, směrem na Křelovice. Areál kláštera leží mezi řekami Želivka a Trnávka (viz obr. č. 41).



- |                               |                      |                           |
|-------------------------------|----------------------|---------------------------|
| 1 Konvent                     | 9 Zahradní domek     | 17 Panský rybník          |
| 2 Kostel Narození Panny Marie | 10 Renesanční dům    | 18 Stáje Stables Ställe   |
| 3 Opatství                    | 11 Opatská zahrada   | 19 Pila                   |
| 4 Trčkův hrad                 | 12 Rajský dvůr       | 20 Strážní vížka          |
| 5 Stará prelatura             | 13 Konventní zahrada | 21 Stodoly Barns Scheunen |
| 6 Úřednický dům               | 14 Dům pod klášteřem | 22 Bývalá mýdlárna        |
| 7 Kostel sv. Petra a Pavla    | 15 Dům čp. 52        | 23 Bývalé hradby          |
| 8 Dům s baštou                | 16 Dům čp. 116       |                           |

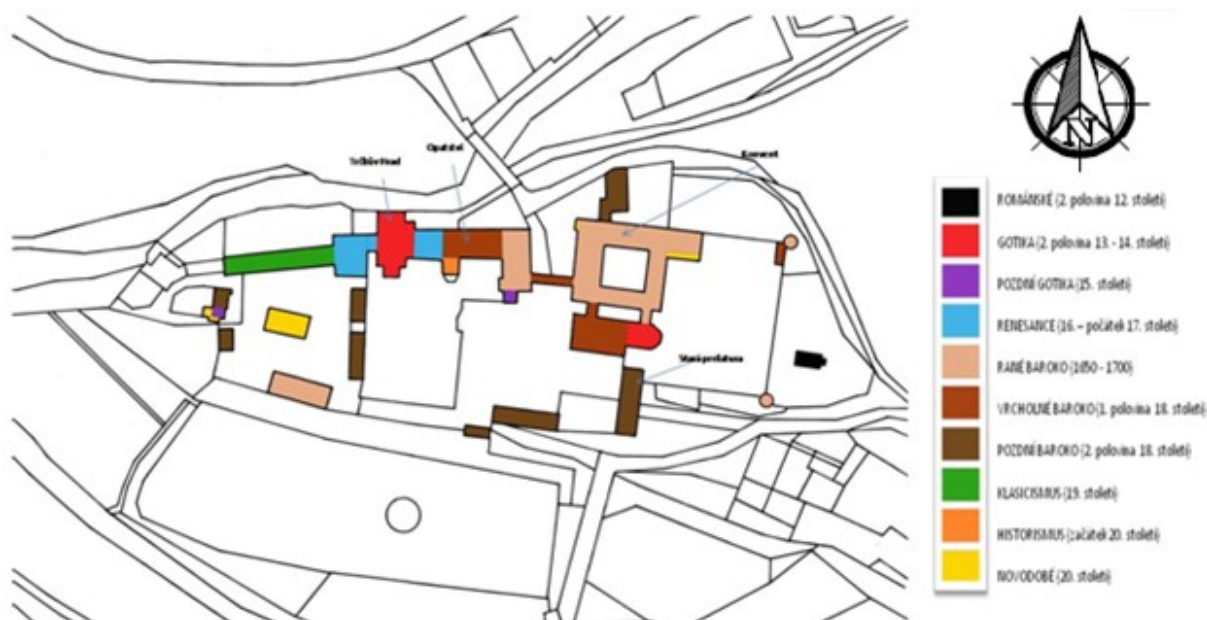


Obr. č. 41: Koncepce areálu Kláštera premonstrátů v Želivě [46]

## 8.1. Analýza historických podkladů Kláštera premonstrátů v Želivě

Areál kláštera se řadí mezi nejstarší na území České republiky, jeho počátky se datují již v roce 1144, kdy byl založen pražským biskupem Otou. V roce 1149 do kláštera přichází premonstráti vedení opatem Gotšalkem. V tomto období od až do roku 1184 se stává klášter jedním z nejvýznamnějších klášterních středisek. V roce 1375 areál kláštera postihuje rozsáhlý požár. Další rány klášternímu komplexu daly husitské války, kdy došlo k vyplenění kláštera. V letech 1467-1468 dochází ke konfiskaci všech statků kláštera, které byly zastaveny Burianu Trčkovi z Lípy. Ten zahajuje v areálu výstavbu goticko - renesančního tzv. Trčkova hradu. Obnovení premonstrátů na Želivském klášteře nastává až v roce 1623. O dvacet let později dosahuje klášterní areál osamostatnění. V roce 1712 dochází k požáru kostela i konventu, za pomoci dobrodinců byly největší škody do osmy let odstraněny. Při přestavbě kostela do stylu barokní gotiky působil také významný architekt Jan Blažej Santini. Na počátku 20. století vzniká v klášterním areálu další požár. Následně v roce 1950 byli premonstráti z kláštera vyhnáni a klášter sloužil jako internační tábor až do roku 1956, kdy se z kláštera stává psychiatrická léčebna s působností do roku 1993, v tomto roce se do areálu vracejí premonstráti. Za dob psychiatrie došlo k poškození významných hodnot klášterních prostor a k chátrání celého komplexu. [45]

### Historický vývoj kláštera



Obr. č. 42: Historický vývoj kláštera [47]

## 8.2. Popis budovy konventu Kláštera premonstrátů v Želivě

Konvent se nachází na severovýchodě klášterního komplexu. Jedná se o objekt, tvořený čtyřmi křídly, s přibližně stejnou šířkou, s výjimkou jižního křídla, které je užší. Čtvercový půdorys narušuje severní křídlo, které je prodlouženo k východu. Konvent je spojen dvojicí chodeb s budovou kostela Narození Panny Marie a na západě, chodbou spojující objekt s prelaturou. Budova je v severní a západní části podsklepena a suterénními prostory propojena s objektem čp. 115, ležícím severně od konventu. Severní a západní křídla jsou díky sklepním prostorům trojpatrová, zbylá křídla disponují dvěma nadzemními podlažími. Všechny křídla jsou v přízemí dvoutraktová, v druhém patře je dispozice stejná, s výjimkou východního křídla, které je řešeno jako trojtrakt se shodnou šířkou a středním traktem sloužícím jako chodba. Všechny výškové úrovně konventu jsou spojeny schodištěm, nacházejícím se na jižní polovině západního křídla.

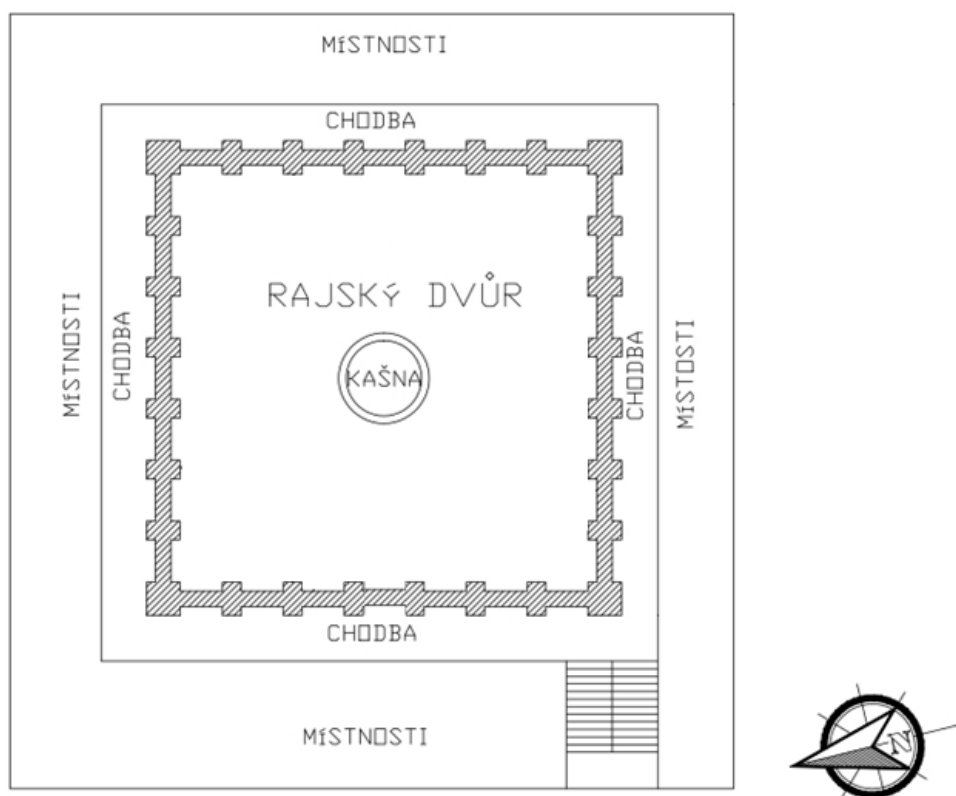
V dobách psychiatrické léčebny došlo k narušení památkové hodnoty objektu přístavkami, na prodloužené části severního křídla, kde byla vybudována garáž a také na západním průčelí nevhodným přístavkem.



Obr. č. 43: Budova konventu [34]

Vnitřní výplň čtvercového konventu tvoří rajský dvůr. Dvůr je čtvercového půdorysu o délce strany cca 27m. Obvodovou nosnou konstrukci rajského dvoru tvoří pilíře, vyplněné mezi sebou velkoformátovými okny. Ve středu čtvercové plochy se nachází kašna. Tato plocha v minulosti sloužila jako místo určené k rozjímání a odpočinku uživatelům kláštera. Rajský dvůr z interiéru lemuje chodba, původně otevřená do prostoru dvoru, tvořící užší trakt konventu.





Obr. č. 44: Rajský dvůr

### 8.2.1. Stavební historie konventu

1144- Počátky kláštera z roku 1144 byly lokalizovány na místech dnešní budovy konventu

Polovina 13. století- Dochází k vyhoření tehdejšího románského konventu

1375- Konstrukce objektů kláštera značně poškozeny požárem

1420- Husitské války zanechávají negativní stopu na objektech kláštera

1643- Započítí nové výstavby konventu

1652- Dokončena výstavba východního křídla budovy konventu

1678 až 1695- Vystavována další křídla budovy konventu (1678 výstavba severního křídla,

1682 výstavba západního křídla, 1685 výstavba jižního křídla)

1681- Zasažena dosavadní výstavba konventu požárem (1706 obnovena střecha konventu)

1688- Dokončení budovy konventu

1712- Zasáhl klášterní areál rozsáhlý požár, který značně poničil i budovu konventu

1713- Započítí opravy objektů kláštera poničených požárem

1950- Zrušení kláštera, budovy areálu jsou využívány nejprve jako internační tábor, následně jako psychiatrická léčebna- v tomto období došlo ke znehodnocení budov kláštera, nevhodnými zásahy a úpravami, jak interiéru, tak i exteriéru budov

1993- Objekty kláštera opět ve vlastnictví řeholního společenství, dochází k postupným úpravám budov, pro potřeby řeholníků

2012- Rekonstrukce obvodové konstrukce rajského dvora (vybourání mezi pilířových stěn a osazení nových oken), podlah a omítek

2013- Dokončení rekonstrukce z roku 2012



*Obr. č. 45: Dnešní podoba rajského dvora [26]*

### **8.3. Specifikace vzorků historického zdícího materiálu**

Vzorky cihel byly odebrány z objektu rajského dvora a to konkrétně v místech výplňových zdí, mezi jednotlivými pilíři. Původně byl objekt rajského dvora otevřený, obvodová konstrukce byla tvořena pouze nosnými pilíři a nízkým soklem mezi těmito pilíři. Pravděpodobně v 50. letech 20. století došlo k vytvoření nadezdívky nad sokly, v prostoru mezi pilíři a tedy k uzavření dvora (viz obr. č. 46). V roce 2012 se přistoupilo k radikální rekonstrukci konventu a mezi pilířové nadezdívky včetně původních soklů byly opět vybourané (viz obr. č. 47).

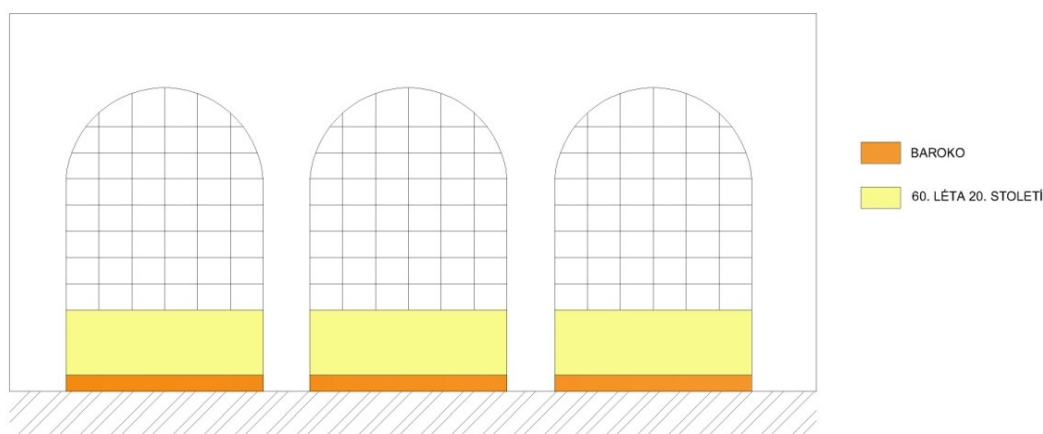


*Obr. č. 46: Rajský dvůr před rekonstrukcí*



*Obr. č. 47: Rajský dvůr v průběhu rekonstrukce [32]*

Z dostupných historických podkladů je patrné, že zdivo mezi pilíři je tvořeno původním soklem, vzniklým při výstavbě objektu v 17. století (rané baroko) a nadezdívkou, pravděpodobně z 50. let 20. století (viz obr. č. 48).



*Obr. č. 48: Složení mezi pilířového zdiva*

Pro posouzení vlastností historického zdíciho materiálu, bylo odebráno, během stavebních úprav probíhajících v létě 2012, celkem šest vzorků cihel (viz obr. č. 49). Vzorky byly označeny V1 až V6 (pro analytické vyhodnocení 14110 až 14115). Důvodem studia, právě těchto cihel, byla možná aplikace získaných poznatků i na další objekty Kláštera premonstrátů v Želivě a to díky velmi pravděpodobnému výskytu autentického materiálu v těchto stavbách. Dalším důvodem, pro volbu právě těchto vzorků pocházejících z budovy konventu, byl předběžný stavebně technický průzkum, zaměřený na zvýšenou vlhkost objektu, který byl proveden v rámci mé bakalářské práce s názvem Průzkum, diagnostika a sanace historických konstrukcí.





*Obr. č. 49: Vzorčky historických cihel V1 až V6*

Referenčním vzorkem byla novodobá cihla plná pálená, označená jako N1, kterou výrobce, cihelna Hlučín, definuje – rozměrem 290 mm × 140 mm × 65 mm, hmotností 4,5 kg, pevností v tlaku 20 MPa, objemovou hmotností 1800 kg.m<sup>-3</sup>.

## 9. Experimentální stanovení vlastností historického zdícího materiálu

Vzorky cihel byly podrobeny několika zkouškám a měřením, které lze z hlediska jejich zaměření rozdělit na makroskopické (viz kapitola 9.1.), fyzikálně- mechanické (viz kapitola 9.2.) a analytické (viz kapitola 9.3.). Příprava vzorků pro chemické a fyzikální zkoušky probíhala dle normy ČSN 72 1009.

### 9.1. Makroskopické posouzení

Makroskopické vyhodnocení probíhá bez přiblížení, jedná se studium vzorku běžným okem, se zaměřením na strukturu, texturu, tvar vzorku, vzduchové dutiny apod.. Pro konkretizaci jednotlivých vzorků je zde zařazeno i zaměření a zvážení a tedy získání prvotních vlastností studovaných materiálů.

Všechny vzorky byly zváženy pomocí laboratorních vah a změřeny posuvným měřítkem a metrem (viz tabulka č. 4). Dále bylo provedeno vizuální posouzení vycházející ze specifikace celého vzorku a ze snímků podélných řezů jednotlivých cihel (viz obr. č. 50 až obr. č. 55). Výsledek vizuálního posouzení zobrazuje tabulka č. 5.

*Laboratorní podmínky-* teplota 22,3 °C, vlhkost 25,1 %

**Tabulka č. 4: Přehled naměřených vstupních hodnot jednotlivých vzorků**

	Hmotnost (g)	Průměrná výška (mm)	Průměrná šířka (mm)	Průměrná délka (mm)
V1 (14110)	3740	60	157	226
V2 (14111)	3606	60	155	215
V3 (14112)	2324	56	150	cca 140
V4 (14113)	2694	60	cca 127	223
V5 (14114)	3618	61	129	265
V6 (14115)	4002	61	123	268



*Obr. č. 50: Řez vzorku 14110 (V1)*



*Obr. č. 51: Řez vzorku 14111 (V2)*



*Obr. č. 52: Řez vzorku 14112 (V3)*



*Obr. č. 53: Řez vzorku 14113 (V4)*



*Obr. č. 54: Řez vzorku 14114 (V5)*



*Obr. č. 55: Řez vzorku 14115 (V6)*

**Tabulka č. 5: Vizuální posouzení vzorků cihel**

	VZOREK V1 (14110)	VZOREK V2 (14111)	VZOREK V3 (14112)	VZOREK V4 (14113)	VZOREK V5 (14114)	VZOREK V6 (14115)
TVAR	relativně pravidelný	relativně pravidelný	necelý vzorek, cca polovina původní cihly	značně nepravidelný	relativně pravidelný na některých plochách zbytky malty	nepravidelný, způsobeno množstvím malty na vzorku
ROVNOST HRAN	relativně rovné, místy na povrchu malta	relativně rovné, místy na povrchu malta	z důvodu narušení jedna hrana značně nerovná	nepravidelné a nerovné, v některých místech zbytky malty	relativně rovné	nepravidelné, způsobeno množstvím malty na vzorku
STAV	místy narušený a porušený	nenarušený	narušená (pouze část původní cihly)	značně narušený	místy narušený, v jedné části díra po vrtu	místy narušený
STRUKTURA	jemnozrná s obsahem větších zrn	nehomogenní jemnozrná	nehomogenní jemnozrná až velmi hrubozrná, vzorek obsahuje zrno o velikosti cca 3cm	převážně jemnozrná	převážně jemnozrná	převážně jemnozrná
TRHLINY	nepatrné	ne	trhlina zasahující do 2/3 vzorku + několik cca 3cm povrchových trhlinek	ne	jedna trhlinka	nepatrné
VZDUCHOVÉ DUTINY	nepravidelné	ve velkém množství, znatelné dusání	mírné, znatelné dusání	v menší míře	dutina po vývrtu + dutiny způsobené dusáním	v menší míře, znatelné dusání
BARVA	světle červená (nestejnoměrná - místy tmavší)	tmavě hnědo červená (stejněměrná)	tmavě hnědo červená (nestejnoměrná - místy černá)	světle červená (stejněměrná)	světle červená (stejněměrná)	tmavě hnědo červená (nestejnoměrná - místy černá)
TEXTURA	hnětení	hnětení	hnětení	hnětení	hnětení	hnětení



## 9.2. Fyzikálně mechanické posouzení

Fyzikálně mechanické vlastnosti se řadí k nejdůležitějším znakům výrobku, z hlediska jeho použitelnosti ve stavebních konstrukcích. Taktéž jsou podstatné pro identifikaci a specifikaci historických stavebních materiálů.

Na historických cihelných vzorcích byly laboratorně stanoveny tyto fyzikálně mechanické vlastnosti:

- Nasákavost
- Pórovitost
- Zdánlivá hustota
- Dynamický modul pružnosti (stanoven i pro N1)
- Objemová hmotnost (stanovena i pro N1)
- Pevnost v tlaku

### 9.2.1. Nasákavost, pórovitost, zdánlivá hustota

Pro zjištění základních fyzikálních vlastností zkoušených cihel byla provedena zkouška nasákavosti, díky které byly následně stanoveny hodnoty pórovitosti a zdánlivé hustoty jednotlivých vzorků. Zkoušení bylo provedeno dle normy ČSN EN 772-21 a ČSN 72 5010.

*Laboratorní podmínky*- teplota 22,2 °C, vlhkost 24,0 %

*Pomůcky měření:*

- sušička, laboratorní digitální váhy, vaříč, nádoba na vodu, voda, nasákavá tkanina, laboratorní váhy umožňující vážení ve vodě

Před započítáním zkoušky byly všechny vzorky vysušeny při 105 °C - 110 °C a stanovila se hmotnost vysušených cihel ( $m_s$ ) na digitálních vahách. Následně byly vzorky uloženy do vodní lázně a to tak, aby se vzájemně nedotýkaly a byly celé ponořené. Voda byla po 55minutách přivedena k varu a v tomto stavu udržována další čtyři hodiny. Po ukončení varu byly cihly ve vodní lázni ponořeny dalších cca 19 hodin. Po vytažení a povrchovém osušení nasáknutých cihel, došlo k vážení na vzduchu ( $m_n$ ) a vážení ve vodě ( $m_{n,w}$ ) pomocí laboratorních vah.



Obr. č. 56: Postup zkoušky nasákavosti

Ze získaných hodnot byla určena:

- Nasákavost- schopnost materiálu přijímat vodu aneb poměr přijatého množství vody, k hmotnosti suchého vzorku
- Pórovitost- udává poměr objemu otevřených pórů, k celkovému objemu tělesa
- Zdánlivá hustota- představuje hmotnost vysušeného vzorku, na jednotku jeho objemu, včetně uzavřených pórů

*Nasákavost:*

$$N = \frac{m_n - m_s}{m_s} * 100 \quad [\%] \quad (4)$$

*Pórovitost:*

$$P = \frac{m_n - m_s}{m_n - m_{nw}} * 100 \quad [\%] \quad (5)$$

*Zdánlivá hustota:*

$$ZH = \frac{m_s}{m_s - m_{nw}} * \rho_v \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (6)$$

kde:

$m_s$  .....hmotnost suchého vzorku [g]

$m_n$  .....hmotnost nasáknutého vzorku váženého na vzduchu [g]

$m_{nw}$  .....hmotnost nasáknutého vzorku váženého ve vodě [g]

**Tabulka č. 6: Přehled naměřených hodnot fyzikálních vlastností vzorků**

	VZOREK V1 (14110)	VZOREK V2 (14111)	VZOREK V3 (14112)	VZOREK V4 (14113)	VZOREK V5 (14114)	VZOREK V6 (14115)
Hmotnost po vysušení (g)	3512,2	3460,1	2201,9	2607,3	3440,0	3759,0
Hmotnost po nasáknutí (g)	4113,7	3984,7	2371,8	3042,2	3970,7	4100,1
Hmotnost po nasáknutí- váženo ve vodě (g)	2025,1	2068,3	1285,6	1568,0	2037,4	2193,8
Nasákavost (%)	17,1	15,2	7,7	16,7	15,4	9,1
Pórovitost (%)	28,8	27,4	15,6	29,5	27,5	17,9
Zdánlivá hustota (kg/m <sup>3</sup> )	2361,8	2486,1	2403,0	2508,7	2452,6	2401,6

### 9.2.2. Dynamický modul pružnosti

Modul pružnosti vyjadřuje odpor materiálu vůči pružné deformaci, čím je vyšší hodnota modulu pružnosti, tím je nutné vyšší napětí k vyvolání deformace. Rozlišujeme modul pružnosti dynamický a statický. Při stanovení statického modulu pružnosti dochází k destrukci vzorku, z tohoto důvodu byl měřen dynamický modul pružnosti, jakož metoda nedestruktivní. Výsledné hodnoty dynamického modulu pružnosti jsou vyšší, než hodnoty statického modulu pružnosti.

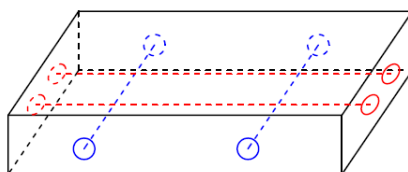
*Laboratorní podmínky* - měření při 0% vlhkosti teplota 23,3 °C, vlhkost 28,6 %

- měření při maximální vlhkosti teplota 22,3 °C, vlhkost 24,0 %

*Pomůcky měření:*

- posuvné měřidlo, metr, ultrazvukový přístroj TICO s příslušenstvím

Měření bylo prováděno ultrazvukovým přístrojem TICO, za pomoci dvojice sond (budič a snímač) o frekvenci 54 kHz a to na každém vzorku ve čtyřech polohách (viz obr. č. 57). V prvním kroku byl přístroj kalibrován, následně, pro lepší styk sondy se vzorkem, byla na sondy připevněna plastelína a před samotným měřením byla v přístroji nastavena hodnota délky, ve směru měření.



Obr. č. 57: Polohy měření dynamického modulu pružnosti

Celkem byly provedeny dva typy měření a to pro vysušené cihly (viz tabulka č. 7) a nasáknuté cihly (viz tabulka č. 8). Výsledné hodnoty, dynamického modulu pružnosti, se určili dle vzorce č. 7.

*Dynamický modul pružnosti:*

$$E_{bu} = \frac{v^2 \cdot \rho}{\kappa} \quad [\text{MPa}] \quad (7)$$

kde:

- v ..... impulsová rychlost ultrazvukového vlnění [km.s<sup>-1</sup>]  
 ρ ..... objemová hmotnost keramického střepu [kg.m<sup>-3</sup>]  
 κ ..... součinitel rozměrnosti prostředí, pro keramiku κ=1,042 [-]



Obr. č. 58: Měření dynamického modulu pružnosti

**Tabulka č. 7: Dynamický modul pružnosti pro vysušené cihly**

Označení vzorku	Poloha měření	Délka (m)	Rychlost (km.s <sup>-1</sup> )	Čas (μs)	Dynamický modul pružnosti (MPa)	Průměrný dynamický modul pružnosti (MPa)
<b>14110 (V1)</b>	Poloha 1	0,158	1,55	102,0	4081,7	<b>4046,0</b>
	Poloha 2	0,158	1,60	99,0	4349,3	
	Poloha 3	0,158	1,47	107,6	3671,2	
	Poloha 4	0,158	1,55	101,9	4081,7	
<b>14111 (V2)</b>	Poloha 1	0,219	1,92	113,9	6604,7	<b>7178,8</b>
	Poloha 2	0,219	2,22	98,6	8830,0	
	Poloha 3	0,155	1,95	79,5	6812,8	
	Poloha 4	0,155	1,90	81,8	6467,9	
<b>14112 (V3)</b>	Poloha 1	0,149	2,89	51,6	16522,2	<b>15056,0</b>
	Poloha 2	0,149	2,72	54,7	14635,6	
	Poloha 3	0,149	2,76	54,0	15069,3	
	Poloha 4	0,149	2,66	56,1	13997,1	



<b>14113 (V4)</b>	Poloha 1	0,227	1,51	150,2	3933,3	<b>3882,1</b>
	Poloha 2	0,227	1,53	148,1	4038,2	
	Poloha 3	0,227	1,48	153,3	3778,5	
	Poloha 4	0,227	1,48	153,2	3778,5	
<b>14114 (V5)</b>	Poloha 1	0,267	2,43	110,0	10418,6	<b>9568,8</b>
	Poloha 2	0,267	2,57	104,1	11653,7	
	Poloha 3	0,126	2,03	62,0	7270,9	
	Poloha 4	0,126	2,25	56,1	8932,3	
<b>14115 (V6)</b>	Poloha 1	0,124	2,31	53,7	10597,4	<b>11335,1</b>
	Poloha 2	0,124	2,58	48,1	13219,5	
	Poloha 3	0,124	2,44	50,8	11823,8	
	Poloha 4	0,124	2,21	56,0	9699,8	

**Tabulka č. 8: Dynamický modul pružnosti pro nasáknuté cihly**

Označení vzorku	Poloha měření	Délka (m)	Rychlost (km.s <sup>-1</sup> )	Čas (μs)	Dynamický modul pružnosti (MPa)	Průměrný dynamický modul pružnosti (MPa)
<b>14110 (V1)</b>	Poloha 1	0,158	1,32	120,0	2960,2	<b>2971,7</b>
	Poloha 2	0,158	1,31	121,0	2915,6	
	Poloha 3	0,158	1,34	118,0	3050,6	
	Poloha 4	0,158	1,32	120,1	2960,2	
<b>14111 (V2)</b>	Poloha 1	0,219	1,75	125,0	5486,9	<b>5688,8</b>
	Poloha 2	0,219	1,92	113,0	6604,7	
	Poloha 3	0,155	1,74	88,9	5424,4	
	Poloha 4	0,155	1,71	90,9	5239,0	
<b>14112 (V3)</b>	Poloha 1	0,149	2,5	59,6	12363,8	<b>12567,1</b>
	Poloha 2	0,149	2,57	58,0	13065,9	
	Poloha 3	0,149	2,45	60,8	11874,2	
	Poloha 4	0,149	2,56	58,2	12964,4	
<b>14113 (V4)</b>	Poloha 1	0,227	1,29	176,4	2870,7	<b>2904,8</b>
	Poloha 2	0,227	1,29	176,3	2870,7	
	Poloha 3	0,227	1,28	178,1	2826,3	
	Poloha 4	0,227	1,33	170,2	3051,4	
<b>14114 (V5)</b>	Poloha 1	0,267	2,52	106,0	11204,6	<b>8997,5</b>
	Poloha 2	0,267	2,23	120,0	8774,2	
	Poloha 3	0,126	2,11	59,6	7855,3	
	Poloha 4	0,126	2,15	58,6	8155,9	
<b>14115 (V6)</b>	Poloha 1	0,124	2,95	42,0	17283,1	<b>14348,3</b>
	Poloha 2	0,124	2,53	49,0	12712,1	
	Poloha 3	0,124	2,71	45,8	14585,3	
	Poloha 4	0,124	2,54	48,8	12812,8	

### 9.2.3. Pevnost v tlaku

Pro určení základní vlastnosti všech materiálů, pevnosti, byly vzorky vystaveny zkoušce pevnosti v tlaku, na tlakovém lisu a zároveň byla vypočtena hodnota objemové hmotnosti, na základě rozměrů a hmotnosti těles.

Z šesti zkoumaných vzorků cihel bylo vyřezáno třicet šest krychliček. Zkoušce pevnosti v tlaku bylo vystaveno celkem třicet vzorků, o rozměrech cca 50mm x 50mm, zbylých šest krychliček nebylo do měření zapojeno, z důvodu narušení jejich celistvosti.

*Laboratorní podmínky* - teplota 22,8 °C, vlhkost 26,5 %

*Pomůcky měření:*

- posuvné měřidlo, laboratorní digitální váhy, tlakový lis s PC

Všechny vzorky byly předem změřeny a zváženy, následně byly vstupní rozměry vloženy do počítače k zatěžovacímu lisu a byla nastavena rychlost zatěžování 0,05 (N/mm<sup>2</sup>)/s. Vzorky byly umístěny do středu lisu a vystaveny tlakovému namáhání do porušení vzorku. Ze získaných hodnot byla stanovena objemová hmotnost a pevnost cihel plných pálených.



Obr. č. 59: Zkouška pevnosti v tlaku

*Pevnost v tlaku:*

$$R = \frac{F}{A_z} * 1000 \quad [\text{MPa}] \quad (8)$$

kde:

F ..... maximální zatěžovací síla [KN]

A<sub>z</sub> ..... plocha zatěžování (A<sub>z</sub>=d\*š) [mm<sup>2</sup>]

Objemová hmotnost:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg.m}^{-3}] \quad (9)$$

kde:

m..... hmotnost tělesa [kg]

V ..... objem tělesa (V=d\*š\*v) [m<sup>3</sup>]

**Tabulka č. 9: Pevnost v tlaku a objemová hmotnost zkušných cihel**

	Zna- čení těles	d (mm)	š (mm)	v (mm)	Hmotnost (g)	PO ZN.	Síla (KN)	Pevnost (MPa)	Průměrná pevnost (MPa)	Objemová hmotnost (kg.m <sup>-3</sup> )	Průměrná objemová hmotnost (kg.m <sup>-3</sup> )
14110 (V1)	14110 1	48,66	49,21	50,20	212,8		36,7	14,7	13,1	1770,3	1770
	14110 2	50,42	50,36	49,84	222,2		36,9	14,7		1755,8	
	14110 3	50,04	49,80	49,78	219,2		31,1	12,4		1767,0	
	14110 4	49,69	50,04	50,21	223,2		26,2	10,5		1787,8	
	14110 5	50,24	49,92	49,97	224,2		33,0	13,2		1789,0	
	14110 6	49,80	49,41	50,16	216,2		32,2	12,9		1751,7	
14111 (V2)	14111 1	49,67	49,90	49,17	221,8		33,3	13,3	17,5	1820,0	1867
	14111 2	50,28	49,61	49,83	238,0		52,3	20,9		1914,8	
	14111 3	49,35	50,40	49,91	233,0		55,3	22,1		1876,9	
	14111 4	50,40	50,60	48,46	232,0	křivá	-	-		-	
	14111 5	49,46	50,09	49,64	230,6		54,3	21,7		1875,1	
	14111 6	49,52	49,93	50,30	229,8		24,4	9,7		1847,7	
14112 (V3)	14112 1	50,10	51,06	50,73	265,2	rozbitá	-	-	7,5	2043,6	2061
	14112 2	50,44	50,83	51,13	268,2		23,9	9,6		2045,9	
	14112 3	50,57	50,28	50,32	263,6		16,5	6,6		2060,2	
	14112 4	50,13	49,53	49,93	259,8		15,5	6,2		2095,6	
14113 (V4)	14113 1	50,04	50,16	46,70	203,4		20,3	8,1	8,1	1735,2	1798
	14113 2	48,20	49,67	49,65	209,2		22,3	8,9		1760,0	
	14113 3	50,18	49,87	48,91	220,0		17,6	7,0		1797,4	
	14113 4	49,72	49,39	49,54	224,0		11,4	4,6		1841,3	
	14113 5	49,87	49,09	49,32	223,8		29,7	11,9		1853,6	
	14113 6	49,91	50,17	50,40	218,8	ulomen roh	-	-		-	

14114 (V5)	14114 1	49,84	49,46	50,29	231,4		55,1	22,0	16,3	1866,6	1839
	14114 2	50,74	49,98	50,21	232,2	ulomen roh	-	-		-	
	14114 3	50,31	50,35	50,40	232,0		33,9	13,6		1817,2	
	14114 4	49,37	50,17	50,03	226,4		36,9	14,8		1827,0	
	14114 5	50,28	50,70	50,28	216,0	provrtaná	-	-		-	
	14114 6	50,23	50,23	50,25	232,4		39,8	15,9		1833,0	
	14114 7	49,91	51,32	49,87	235,4		43,5	17,4		1842,9	
	14114 8	50,18	50,72	50,88	238,8		34,7	13,9		1844,1	
14115 (V6)	14115 1	50,20	50,17	50,46	258,8		54,7	21,9	19,1	2036,4	2069
	14115 2	49,78	50,50	49,40	257,8		59,3	23,7		2075,9	
	14115 3	50,15	49,70	50,00	251,0		42,6	17,0		2014,1	
	14115 4	50,15	49,83	49,93	261,6		42,8	17,1		2096,6	
	14115 5	49,85	49,49	50,25	270,0	ulomen roh	-	-		-	
	14115 6	50,30	50,07	49,88	266,8		39,9	16,0		2123,8	

### 9.3. Analytické posouzení

Analytické metody se využívají pro studium materiálů, napomáhají k rozšíření poznatků o studovaném předmětu a to zejména z hlediska složení prvku, struktury materiálu, chování materiálu při tepelné zátěži apod.. Díky těmto metodám lze u cihel určit velikost zrn, pigment pojiva, obsažené horniny a minerály, obsah ostřiva, organickou kontaminaci, chemické složky, teplotu výpalu, teplotu slinování atd..

Pro analytické posouzení historických plných pálených cihel byly zvoleny metody:

- Petrografie (výbrus)
- Infračervená spektroskopie
- Termická analýza (DSC- TGA)

#### 9.3.1. Petrografie cihloviny

Petrografická analýza sloužící k studiu struktury materiálu a to buď makroskopicky či mikroskopicky. Pro možnost sledování struktury zkoušeného materiálu je nutná řada předchozích úprav, jejichž výsledkem je výbrus. Výbrus je preparát, který je vybroušen do průhledné vrstvy, silně několik setin mm a slouží tedy pro optickou mikroskopickou

analýzu materiálu, v procházejícím nebo polarizovaném světle nebo v případě neprůhledných složek, i v napadajícím (odraženém) světle. Před započítím přípravy vzorku je nutné znát účel, pro který se výbrus provádí.

Prvním krokem pro zhotovení výbrusu je odběr vzorku materiálu, pokud možno o velikosti větší než 2 cm x 3 cm. Místo odběru se patřičně zaznamená, aby byla zřejmá poloha výbrusu k celkovému zkoumanému tělesu (v našem případě plné pálené cihly) a vzorek sloužící pro zhotovení výbrusu se označí. U vzorků malých rozměrů, zejména z důvodu lepší manipulace, je možné provést zalévání vzorku (za studena) nebo zalisování vzorku (za tepla).

Takto připravený vzorek materiálu je podroben ručnímu broušení, prostřednictvím brusného papíru a to tak, že broušení provádíme vždy jedním směrem, po přechodu na brusný papír s menší drsností, změním směr na kolmý k předcházejícímu směru broušení a brousíme, dokud nezmizí drážky po předchozím broušení. Mezi každou změnou brusiva se vzorek opláchně vodou. Celkový proces broušení je ukončen po použití nejjemnějšího brusného papíru.

Dalším nezbytným krokem práce s výbrusy je jejich vyhodnocení, které lze provést makroskopicky nebo mikroskopicky. Makroskopické vyhodnocení se provádí na vzorku bez přiblížení, tedy v jeho skutečné velikosti. Mikroskopicky se hodnotí vzorky pomocí světelných mikroskopů. V případech kdy je požadováno vyšší zvětšení, je možno provést elektronovou mikroskopii.

Petrografická analýza byla provedena na výbrusu cihlou. Výbrusy studovaných plných pálených cihel byly prováděny na oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů ÚGN AVČR, v. v. i. Ze všech zkoumaných cihel byly odebrány vzorky materiálu, ze kterých byly vyhotoveny výbrusy (tenká vrstvička materiálu nalepená na laboratorním sklíčku a vybroušená do tloušťky cca 0,05 mm) a v poslední fázi mikroskopické snímky.



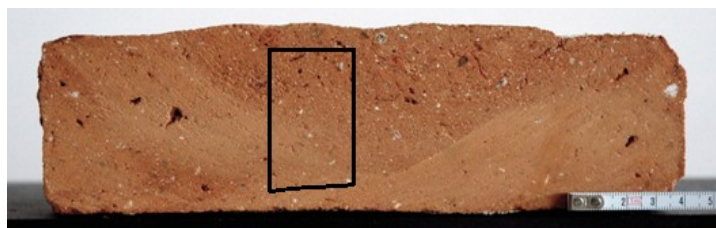
Obr. č. 60: Přehled kroků pro zhotovení mikroskopického snímku výbrusu (vzorek → výbrus → mikroskopický snímek)

Pro snímkování byl použit optický polarizační mikroskop NIKON ECLIPSE 80i, vybavený barevnou CCD kamerou NIKON DS-5M, připojenou přes videokartu k PC. Digitální obraz byl zpracován v systému pro zpracování a analýzu obrazu NIS ELEMENTS.

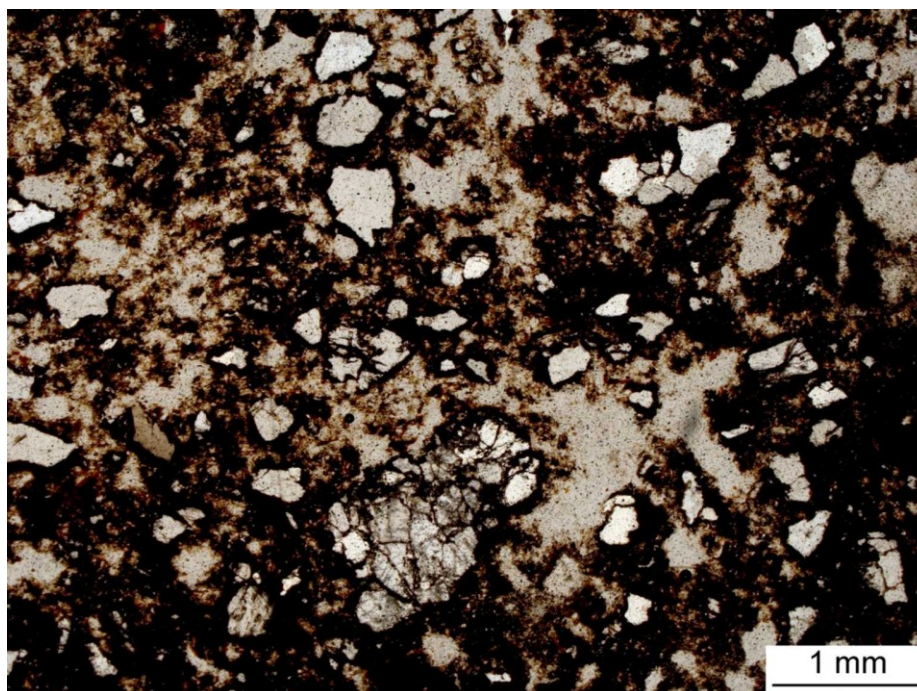
### Vyhodnocení výbrusů

Při vyhodnocení je nutné brát v potaz, že se jedná o hodnocení části vzorku, jak je patrné z obrázku č. 60.

### Vyhodnocení vzorku č. 14110 (V1):



*Obr. č. 61: Místo odběru vzorku pro výbrus z cihly 14110 (V1)*



*Obr. č. 62: Mikroskopický snímek výbrusu cihly 14110 (V1)*

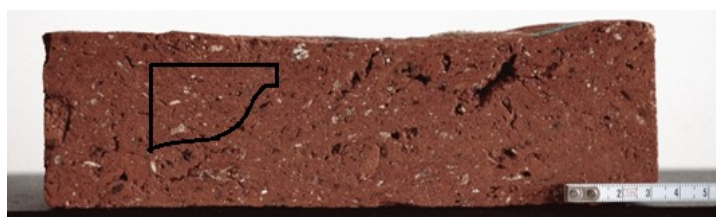
- Vzorek č. 14110 má jemně zrnitý, prachovitý stěp světle červené barvy. Z hlediska ostřiva je zde zastoupen křemen, křemenno - živcová zrna, ostrohranná angulární zrna křemenných agregátů s rutilem, dále draselné živce, plagioklasy Na-Ca kyselé, úlomky rul a velký obsah (meta)slídy s velmi jemnými šupinkami. U vzorku lze také pozorovat



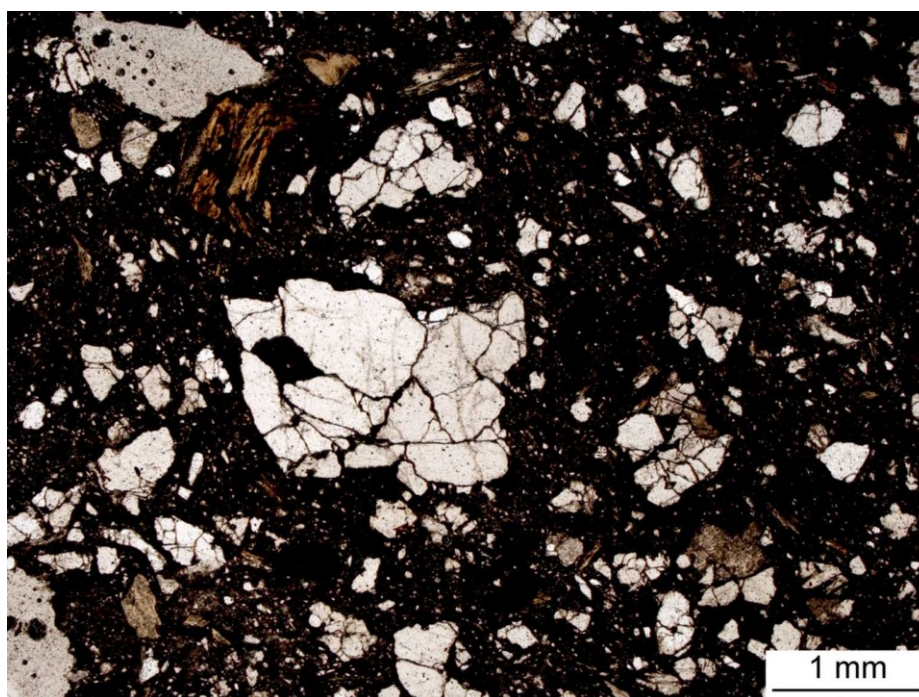
lemy hematitu (po limonitu), kolem zrn ostřiva nebo v místě rozložených metaslíd.  
Ve vzorku je také patrný výskyt organických uhlíkatých látek.

- U křemenných a kvarcitových zrn je patrné poškození trhlinami po  $\alpha \rightarrow \beta$  Q při 573°C.
- Pigment tmavě hnědé barvy.
- Výbrus vzorku se rozpadal, což způsobil vysoký obsah (meta)slídy v materiálu.
- Zrna ostřiva se dle výbrusů pohybují od 3 mm až po 0,1 mm.
- Průměrné zrno, dle mikroskopického snímku, má velikost 0,3 mm.
- Objemový podíl ostřiva lze odhadnout na 10 - 15 %.

Vyhodnocení vzorku č. 14111 (V2):



*Obr. č. 63: Místo odběru vzorku pro výbrus z cihly 14111 (V2)*



*Obr. č. 64: Mikroskopický snímek výbrusu cihly 14111 (V2)*

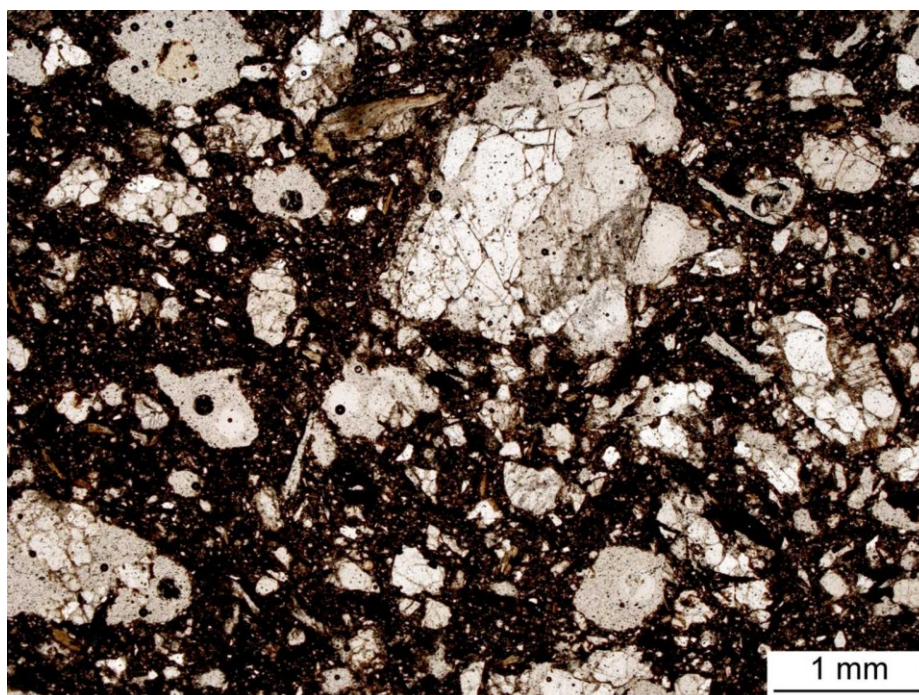
- Vzorek č. 14111 má jemně zrnitý, prachovitý, tmavý stěp. Z hlediska ostřiva obsahuje křemen, křemeno - živcová zrna, křemenné ostrohranné agregáty, menší množství slíd (ojedinělé velké šupinky rozložených slíd) a méně uhlíkatých částic oproti vzorku č. 14110, dále úlomky rul, plagioklasy Na-Ca a malé množství ortoklasu. U vzorku lze také pozorovat lemy hematitu (po limonitu), kolem zrn ostřiva.

- U křemenných a kvarcitových zrn je možné pozorovat poškození trhlinami po  $\alpha \rightarrow \beta$  Q při 573°C.
- Pojivo tmavě hnědo červené barvy
- Výbrus vzorku je značně kompaktní, celistvý.
- Zrna ostřiva se dle výbrusu pohybují od 5 mm až po 0,05 mm.
- Průměrné zrno, dle mikroskopického snímku, má velikost 0,5 mm.
- Objemový podíl ostřiva lze odhadnout na 30 - 35 %.

Vyhodnocení vzorku č. 14112 (V3):



Obr. č. 65: Místo odběru vzorku pro výbrus z cihly 14112 (V3)



Obr. č. 66: Mikroskopický snímek výbrusu cihly 14112 (V3)

- Vzorek č. 14112 má jemně zrnitý, prachovitý stěp, tmavě hnědo červené barvy. Z hlediska ostřiva obsahuje křemen, křemenno - živcová zrna, křemenné ostrohranné angulární agregáty, draselné živce, úlomky rul, malé množství slídy (ojedinělý výskyt velkých šupinek rozložených slíd) a plagioklasy Na-Ca kyselé. Ve vzorku je také patrný výskyt organických uhlíkatých látek.

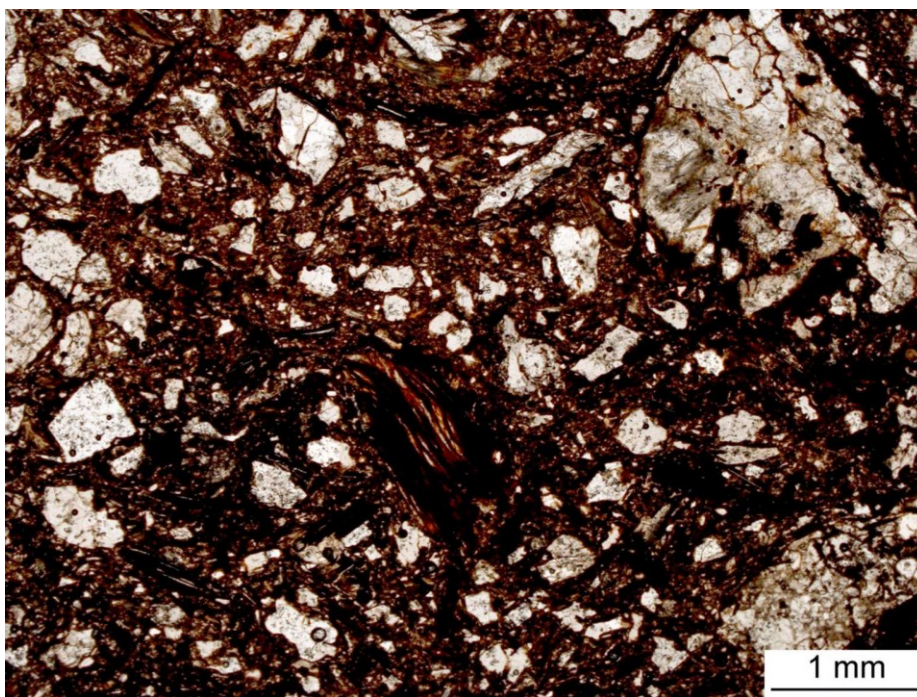


- U křemenných a kvarcitových zrn je možné pozorovat poškození trhlinami po  $\alpha \rightarrow \beta$  Q při 573°C.
- Pigment hnědé barvy.
- Výbrus vzorku je díky dobře pojeným zrnům ostřiva s cihelným střepe kompaktní.
- Zrna ostřiva se dle výbrusu od 4 mm až po 0,1 mm.
- Průměrné zrno, dle mikroskopického snímku, má velikost 0,5 mm.
- Objemový podíl ostřiva lze odhadnout na 25 - 30 %.

Vyhodnocení vzorku č. 14113 (V4):



Obr. č. 67: Místo odběru vzorku pro výbrus z cihly 14113 (V4)

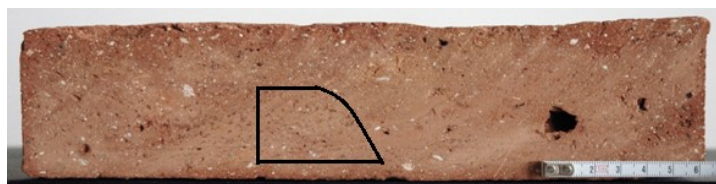


Obr. č. 68: Mikroskopický snímek výbrusu cihly 14113 (V4)

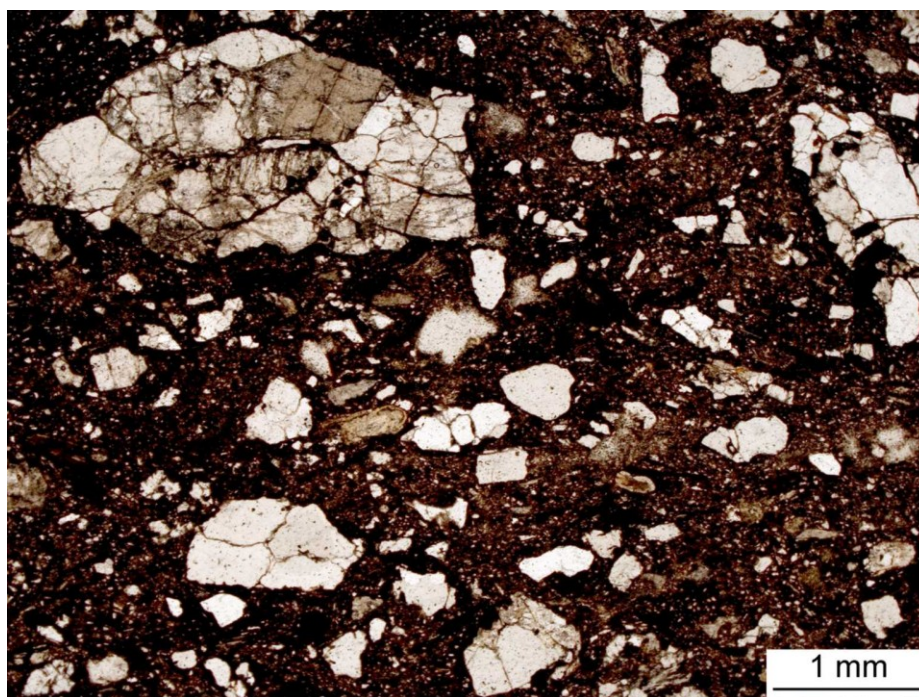
- Vzorek č. 14113 má velmi jemně prachovitý střepe světle červené barvy, s četnými velmi jemnými šupinkami slídy. Z hlediska ostřiva obsahuje křemen, křemenno - živcová zrna, křemenné ostrohranné agregáty, granitoidní agregáty křemene, draselné živce, slídy s šupinkami o velikosti větší jak 1 mm (biotit) a úlomky rul nebo svoru. U vzorku lze také pozorovat lemy hematitu (po limonitu), kolem zrn ostřiva nebo v místě rozložených metaslíd. Výskyt organických uhlíkatých látek je zde velmi vzácný.

- U křemenných a kvarcitových zrn je možné pozorovat poškození trhlinami po  $\alpha \rightarrow \beta$  Q při 573°C.
- Pigment je tmavě hnědočervený barvy.
- Výbrus vzorku je kompaktní.
- Zrna ostřiva se dle výbrusu pohybují od 4 mm až po 0,05 mm.
- Průměrné zrno, dle mikroskopického snímku, má velikost 0,3 mm.
- Objemový podíl ostřiva lze odhadnout na 25 - 30 %.

Vyhodnocení vzorku č. 14114 (V5):



Obr. č. 69: Místo odběru vzorku pro výbrus z cihly 14114(V5)



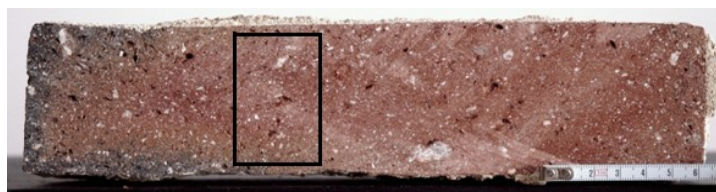
Obr. č. 70: Mikroskopický snímek výbrusu cihly 14114(V5)

- Vzorek č. 14114 má jemně zrnitý, prachovitý stěp, světle červené barvy, chudý na jemné šupinky slíd. Z hlediska ostřiva obsahuje křemen, křemeno - živcová zrna, křemenné ostrohranné agregáty (některá zrna s rutilem), granitoidní agregáty křemene, živce, ojedinělé zastoupení rozložených slídy s velkými šupinkami, dále jsou zde zastoupeny úlomky rul nebo svoru a plagioklasy Na-Ca kyselé. Výskyt organických uhlikatých látek je zde ve velkém množství (zuhlňatělá stébla trav nebo obilí).

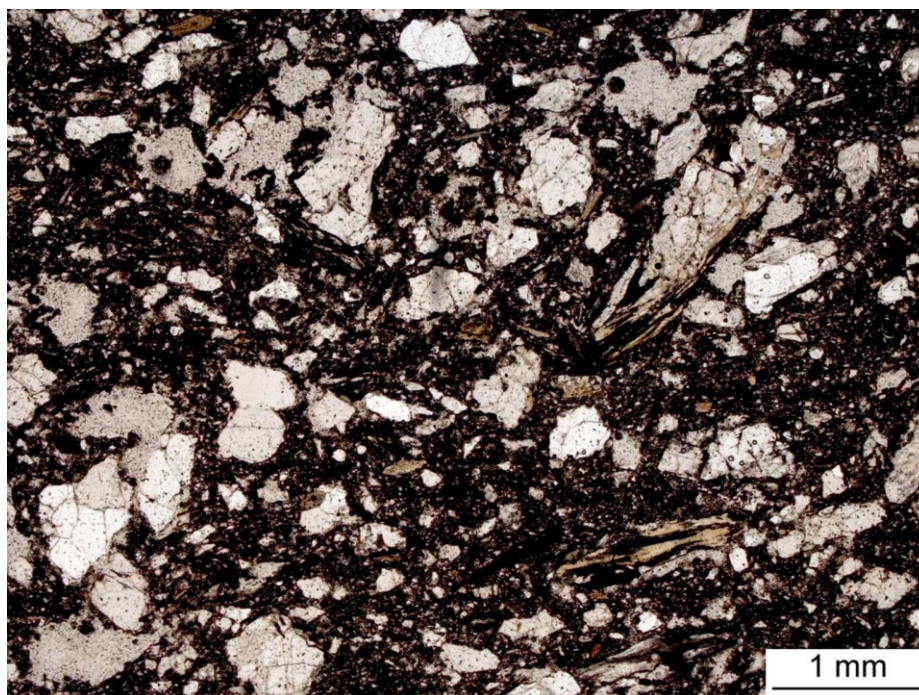


- U křemenných a kvarcitových zrn je možné pozorovat poškození trhlinami po  $\alpha \rightarrow \beta$  Q při 573°C.
- Pigment tmavě hnědočervené barvy.
- Výbrus vzorku je, díky velmi hutnému střepu, kompaktní.
- Zrna ostřiva se dle výbrusu pohybují od 4 mm až po 0,1 mm.
- Průměrné zrno, dle mikroskopického snímku, má velikost 0,35 mm.
- Objemový podíl ostřiva lze odhadnout na 30 - 35 %.

Vyhodnocení vzorku č. 14115 (V6):



*Obr. č. 71: Místo odběru vzorku pro výbrus z cihly 14115 (V6)*



*Obr. č. 72: Mikroskopický snímek výbrusu cihly 14115 (V6)*

- Vzorek č. 14115 má jemně zrnitý, prachovitý střep, tmavě hnědo červené barvy, chudý na jemné šupinky slíd. Z hlediska ostřiva obsahuje křemen, křemeno - živcová zrna, křemenné ostrohranné angulární agregáty, malé zastoupení slídy, dále jsou zde zastoupeny úlomky rul, plagioklasy Na-Ca kyselá a draselná živce. Ve vzorku je také patrný výskyt organických uhlíkatých látek (zuhlňatělá stébla trav nebo obilí).

- U křemenných a kvarcitových zrn je možné pozorovat poškození trhlinami po  $\alpha \rightarrow \beta$  Q při 573°C.
- Pigment černé barvy (uhlíkaté látky).
- Výbrus vzorku je, díky tvrdému střepu, celistvý.
- Zrna ostřiva se dle výbrusů pohybují od 5 mm až po 0,05 mm.
- Průměrné zrno, dle mikroskopického snímku, má velikost 0,4 mm.
- Objemový podíl ostřiva lze odhadnout na 25 - 30 %.

### 9.3.2. Infračervená spektroskopie

Principem infračervená spektroskopie je interakce infračerveného záření se vzorkem. Dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekul vzorku, které se projevují pohlcením určitého množství absorbovaného záření, při různých vlnových délkách. Vlnové délky infračervené spektroskopie se pohybují od 800 nm až po 1 mm, což také představují vlnočty (převrácené hodnoty vlnové délky) od 12500  $\text{cm}^{-1}$  až po 10  $\text{cm}^{-1}$ .

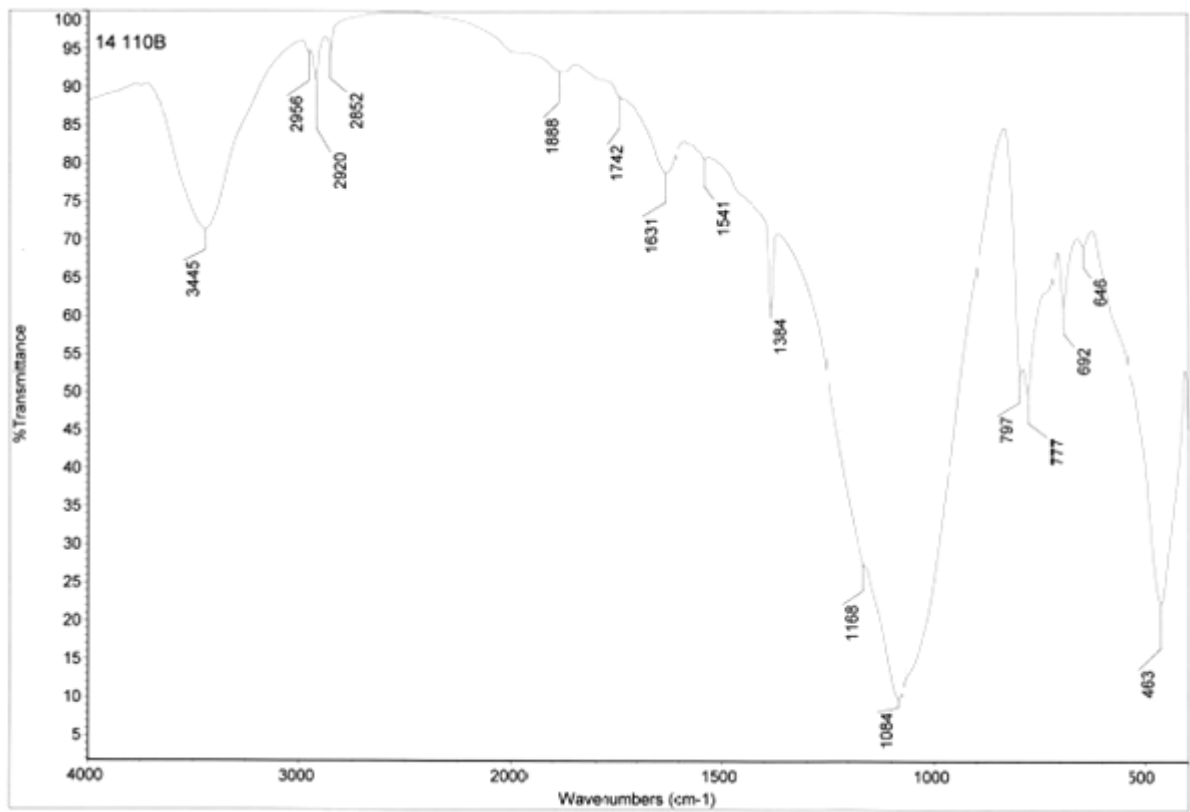
Celou oblast infračerveného záření můžeme rozdělit na spektrální oblasti:

- Blízká infračervená spektrální oblast (vlnočty 12000  $\text{cm}^{-1}$  až 4000  $\text{cm}^{-1}$ )
- Střední infračervená spektrální oblast (vlnočty 4000  $\text{cm}^{-1}$  až 400  $\text{cm}^{-1}$ )
- Vzdálená infračervená spektrální oblast (vlnočty 400  $\text{cm}^{-1}$  až 10  $\text{cm}^{-1}$ )

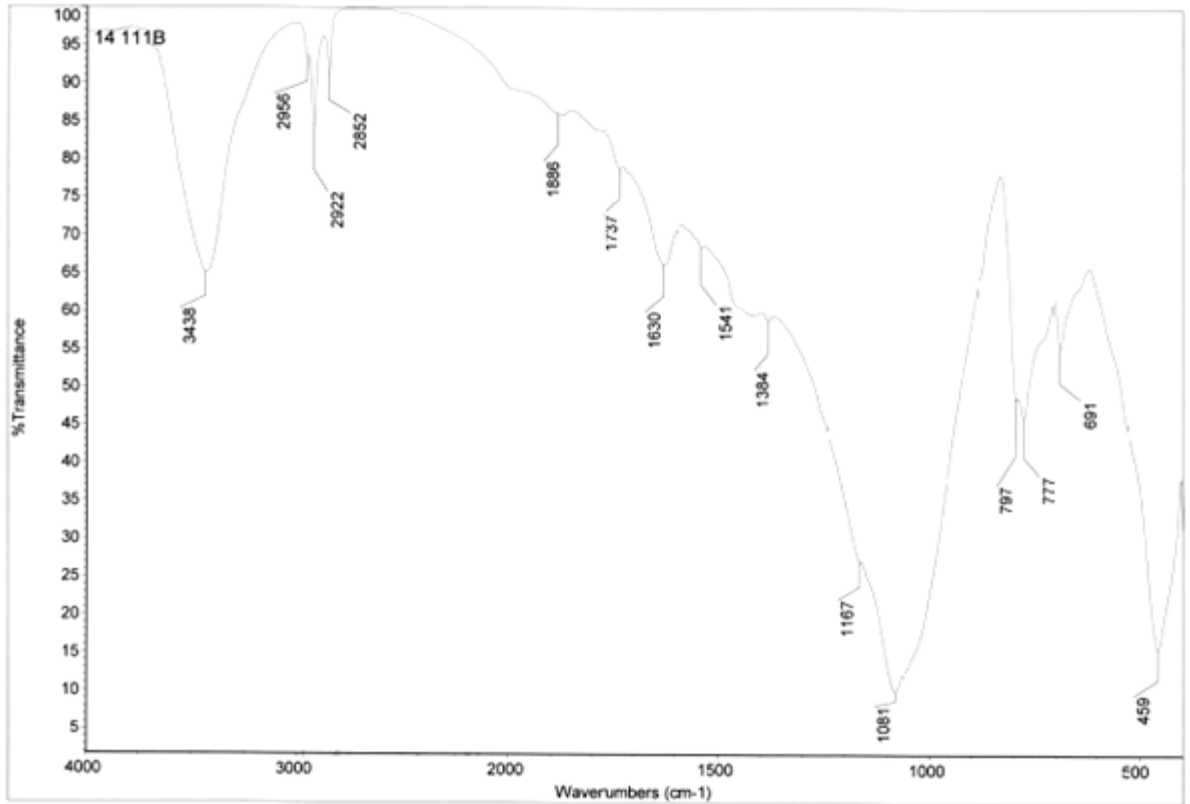
Výsledkem infračervené spektroskopie je grafické znázornění závislosti energie, vyjádřené pomocí transmitance v procentech, na vlnočtu záření. Transmitance (propustnost) je definována jako poměr intenzity záření, které prošlo vzorkem, k intenzitě záření vycházející ze zdroje [44].

Infračervená spektroskopie se prokázala jako velmi vhodná metoda pro zkoumání historických materiálů, proto byla použita pro identifikaci chemické struktury vzorků plných pálených cihel.

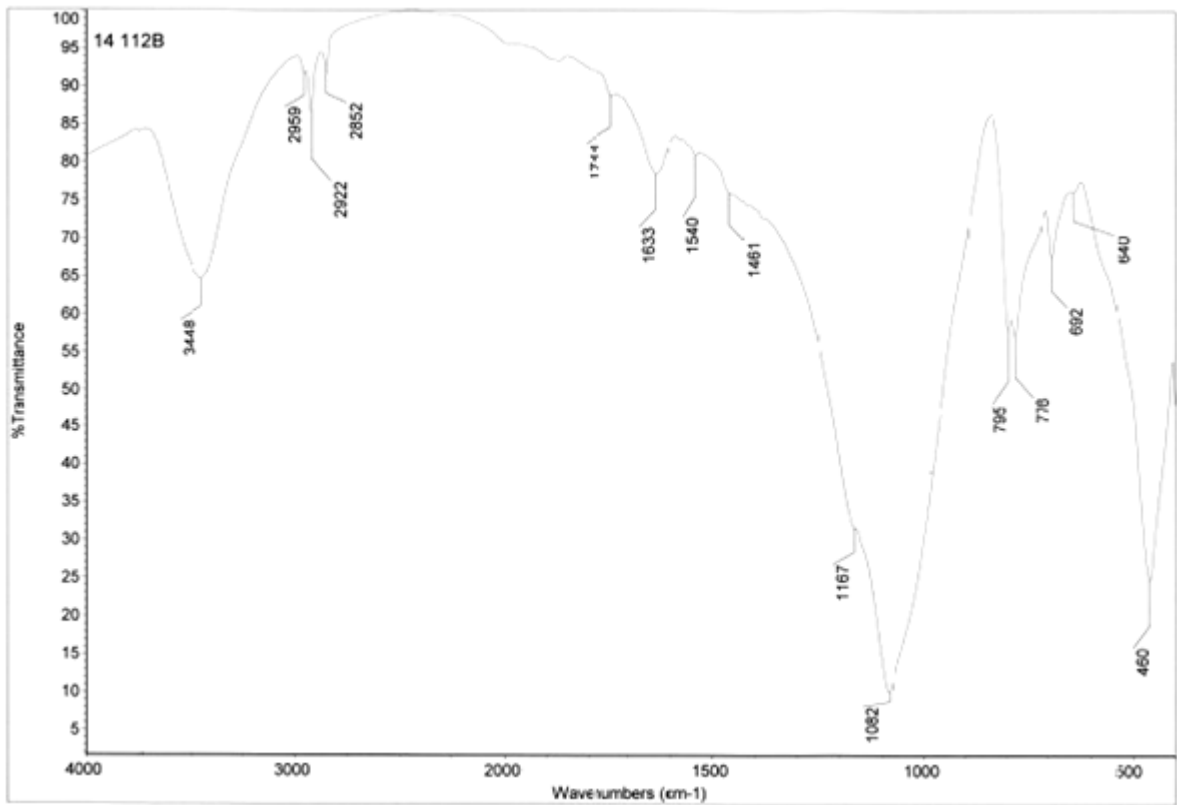
V první řadě byly připraveny prášky z pojiv zkoumaných cihel (bez ostřiva), které byly následně prostřednictvím oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů ÚGN AVČR, v. v. i. podrobeny infračervené spektroskopii. Měření bylo prováděno přístrojem FTIR spektrometr Nicolet6700, Termo Fisher Scientific, ve střední oblasti infračerveného záření, od vlnočtu 4000  $\text{cm}^{-1}$  až 400  $\text{cm}^{-1}$ . Pro přípravu vzorků pro infračervenou spektroskopii byla použita tabletovací technika s použitím KBr (2mg vzorku na 100mg KBr). Měření probíhalo při 64 skenech s rozlišením 4  $\text{cm}^{-1}$ .



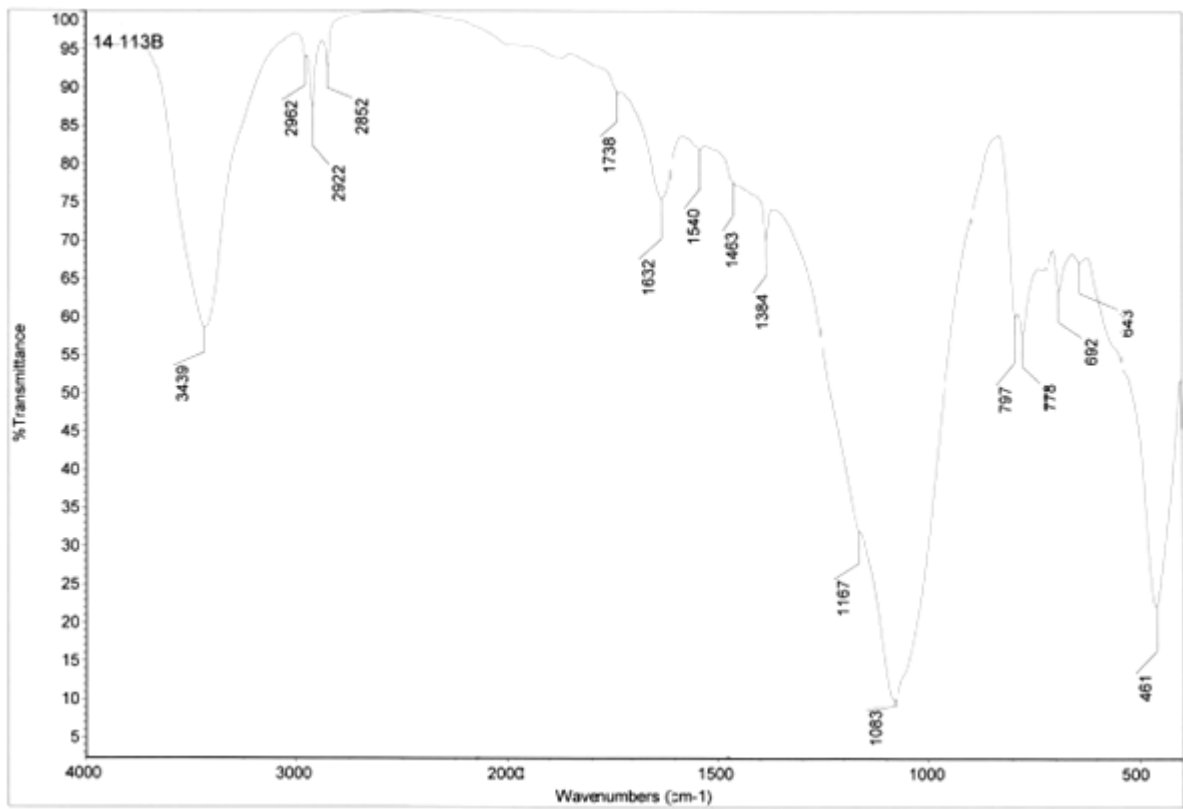
Obr. č. 73: Infračervené spektrum vzorku č. 14110



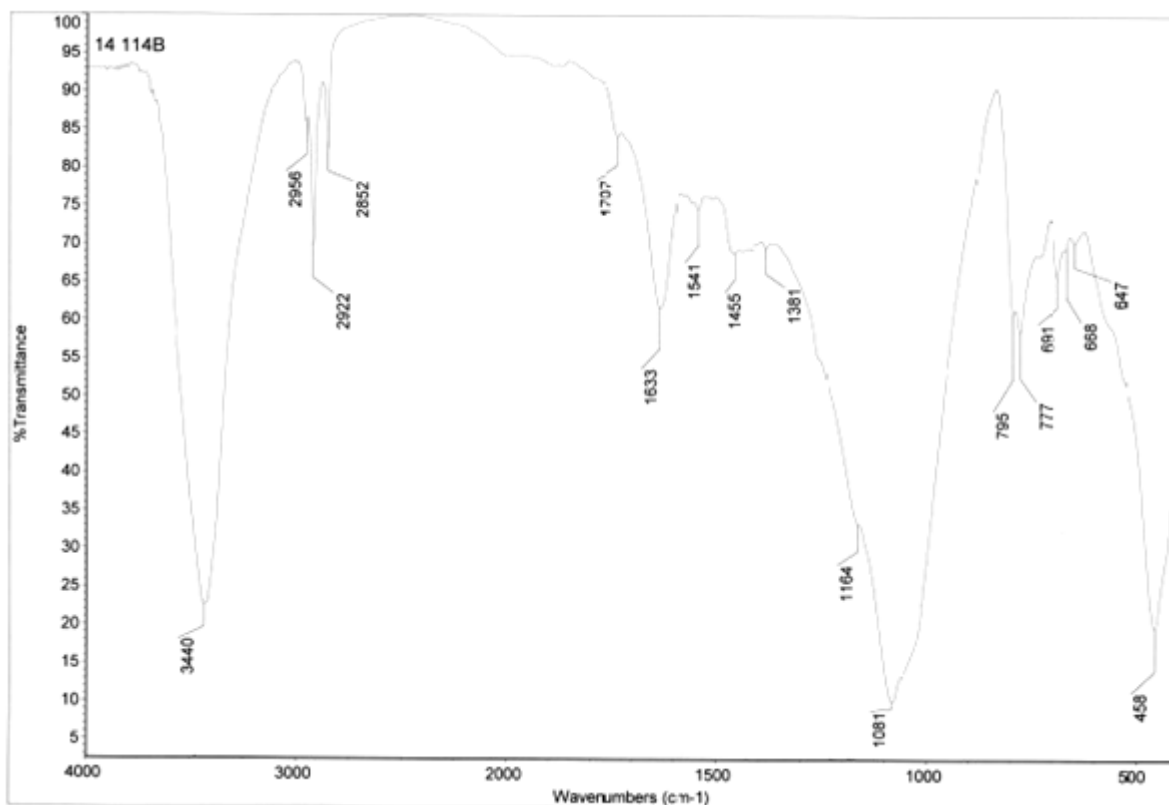
Obr. č. 74: Infračervené spektrum vzorku č. 14111



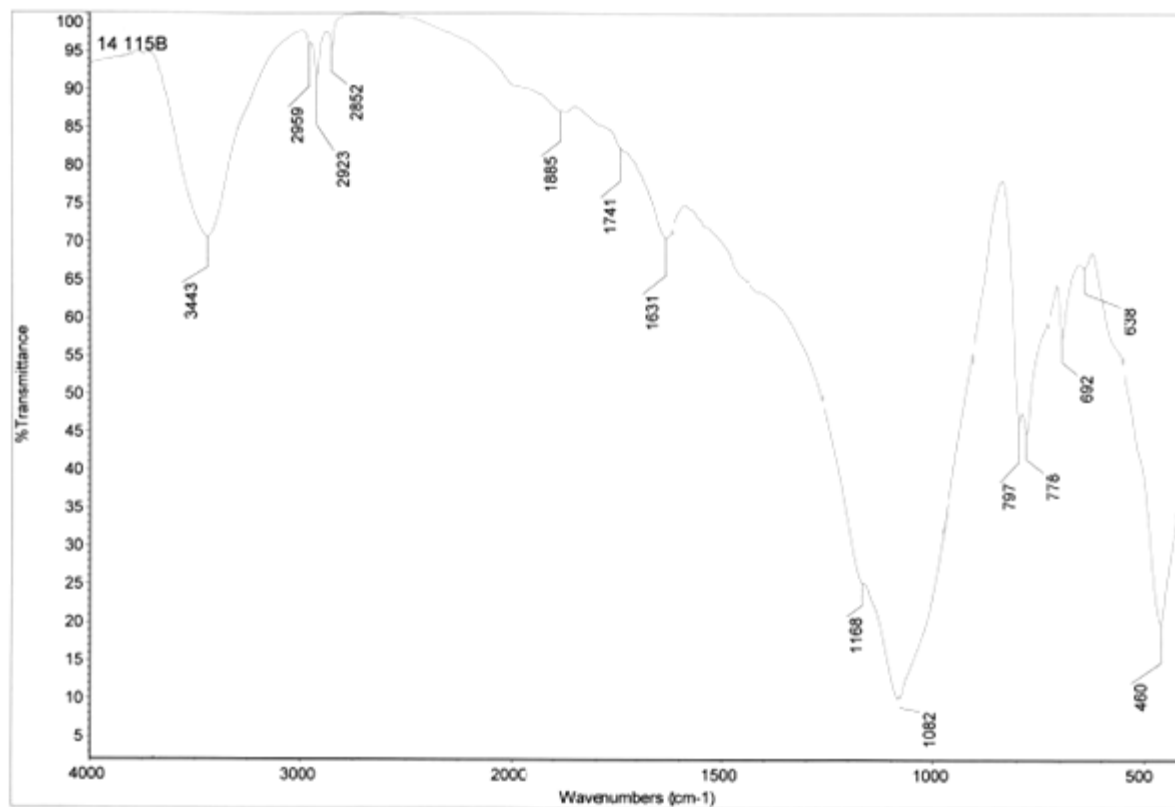
Obr. č. 75: Infračervené spektrum vzorku č. 14112



Obr. č. 76: Infračervené spektrum vzorku č. 14113



Obr. č. 77: Infračervené spektrum vzorku č. 14114



Obr. č. 78: Infračervené spektrum vzorku č. 14115

## Vyhodnocení infračervené spektroskopie

Infračervená spektroskopie byla vyhodnocena pro všechny vzorky historických plných pálených cihel. Výsledné grafické znázornění infračervených spekter, na obrázcích č. 73 až 78, vyhodnocuje tabulka č. 10.

**Tabulka č. 10: Vyhodnocení infračervených spekter vzorků č. 14110- 14115**

ANALYTICKÉ ČÍSLO	ZNAČENÍ FAST	IČS			
		Organická kontaminace	Dusičnan vápenatý	Cihlová hmota ( $\text{cm}^{-1}$ )	Kvarcity
14110	V1	+	++	1168-1084	++
14111	V2	+	+	1167-1081	++
14112	V3	+	-	1167-1082	++
14113	V4	+	+	1167-1083	+
14114	V5	+	+	1164-1081	++
14115	V6	+	-	1168-1082	++

*Z infračervené spektroskopie je patrné:*

- Všechny vyhodnocované vzorky cihel obsahují složky cihlové hmoty, charakteristické pásy o vlnočtech  $1164 \text{ cm}^{-1} - 1083 \text{ cm}^{-1}$ .
- V pojivu se projevuje silikátová fáze s hematitem ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), jehož typická pásma jsou zde zastoupena od  $1630 \text{ cm}^{-1}$  až  $1633 \text{ cm}^{-1}$ . S ostřiva je ve vzorcích jasně patrný křemen ( $\text{SiO}_2$ ).
- Ve všech vzorcích je velmi vysoký obsah křemene (ve formě monominerálních křemenných zrn, srůstu s živci nebo slídami, kvarcity atd.).
- Ve vzorcích 14110, 14111, 14113, 14114 se vyskytují pásy charakteristické pro dusičnan vápenatý ( $1381 \text{ cm}^{-1} - 1384 \text{ cm}^{-1}$ ). Nejvyšší obsah dusičnanu vápenatého ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) byl identifikován ve vzorku 14110. Přítomnost tohoto dusičnanu byla způsobena vzlínáním vody v zděné konstrukci.
- Organická kontaminace byla prokázána ve všech studovaných vzorcích.



### 9.3.3. Termická analýza

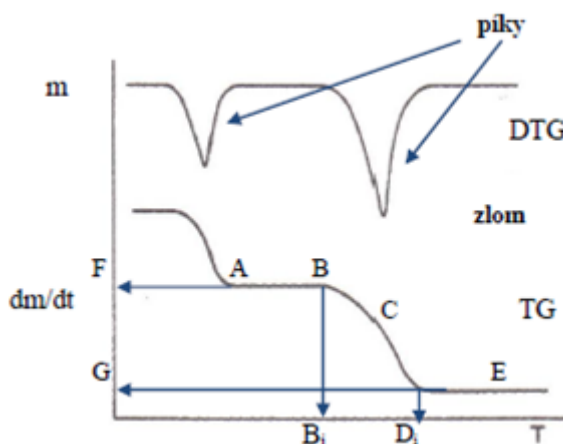
Při termických metodách dochází ke změnám vlastností a složení zkoumaných materiálů, způsobenými tepelným zatížením vzorku, které může být dynamické (zahřívání, ochlazování) nebo statické (konstantní teplota v čase). V průběhu tepelného zatížení mohou nastat různé procesy, jako jsou fázové přeměny, rozklady, chemické reakce, dehydratace apod., často doprovázené změnami hmotnosti, objemu, vodivosti, energie apod.. Druhy termických metod se rozlišují vlastností, kterou sledují, viz tabulka č. 11.

Tabulka č. 11: Druhy termické analýzy [12]

Metoda	Studovaná vlastnost	Zkratka
Termogravimetrická analýza	hmotnost	TG
Diferenční termická analýza	rozdíl teplot	DTA
Diferenční skenovací kalorimetrie	entalpie, tepelný tok	DSC
Termomechanická analýza	rozměr a mechanické vlastnosti	TMA
Termoelektrická analýza	elektrické vlastnosti	TEA
Termomagnetická analýza	magnetické vlastnosti	–
Termooptická analýza	optické vlastnosti	TOA
Termoakustická analýza	akustické vlastnosti	–
Analýza tepelně stimulované výměny plynů	tepelně stimulovaná výměna plynů	

#### Termogravimetrická analýza

Termogravimetrická analýza (TG) se zaměřuje na změnu hmotnosti vzorku v závislosti na teplotě. Výstupem je termogravimetrická křivka, sloužící zejména k studiu změn hmotnosti. Z analýzy termografické se odvíjí metoda derivační termografie (DTG), jejímž výstupem je křivka závislosti teploty na rychlosti změn hmotnosti.



Obr. č. 79: Křivky TG a DTG [2, 13]

Prvotním znakem druhu procesu je tvar TG křivky, sloužící pro identifikaci děje. U křivek bez zlomu nedochází ke změnám hmotnosti, křivky s úbytkem hmotnosti v počátku, naznačují sušení a desorpci, rozklad znázorňuje křivka s jedním zlomem apod..

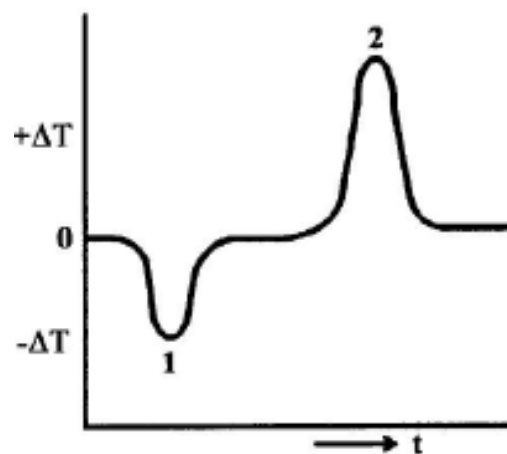
Vyhodnocení termografických křivek, tedy závislosti procent původní hmotnosti (popřípadě hmotnosti) na teplotě (popřípadě čase), se provádí odečtem:

- Oblasti beze změn
- Oblasti se změnami
- Dílčího úbytku hmotnosti
- Celkového úbytku hmotnosti

### Diferenční termická analýza

Metoda zabývající se měřením teplot mezi zkoumaným vzorkem a standardem (oxid hlinitý nebo karbid křemíku). Oba vzorky jsou zahřívány v peci společně, referenční vzorek je v měřeném intervalu inertní. Metoda diferenční termické analýzy (DTA) se z důvodů přesnějších výsledků kombinuje například z termografickou analýzou.

Výsledkem je křivka DTA (závislost teplot mezi standardem a zkoumaným vzorkem, v jednotkách  $\mu\text{V}$ , na teplotě či čase), ze které lze určit typ reakce (exotermní, endotermní) a hodnoty příslušných změn.



Obr. č. 80: Křivka DTA; 1- endotermický děj, 2-exotermický děj [3]

Podle tvaru píku lze usuzovat na určitý druh fázové přeměny [8]:

1. Pík je tvořen ostrým vrcholem- tání čisté látky, eutektika
2. Pík s oblým vrcholem- přeměny probíhající v určitém teplotním intervalu, určuje se bod nástupu, vrchol píku atd.
3. Křivky se dvěma píky blízko za sebou- odpovídají průchodu dvoufázovou oblastí

## Diferenční skenovací kalorimetrie

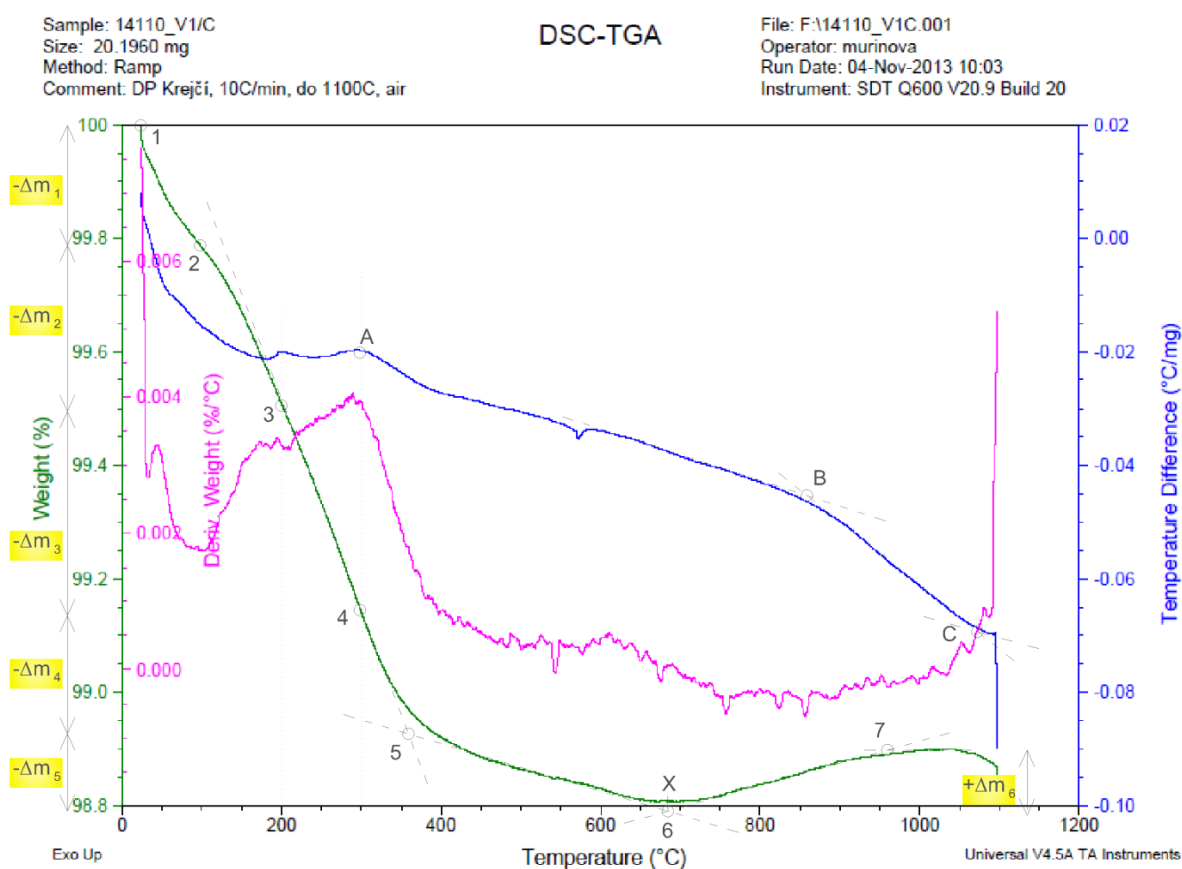
Jedná se o metodu vyvinutou z DTA (přesnější než DTA), jejíž princip je v udržení stejné teploty standardu a zkoušeného vzorku, které jsou společně zahřívány. Teplota je udržována prostřednictvím energie, která je dodána studovanému materiálu nebo referenčnímu vzorku, v závislosti na probíhající ději (endotermní, exotermní).

Výsledkem je křivka DSC, určená pro studium tepelných vlastností materiálů, jejíž vyhodnocení probíhá obdobně jako u křivek DTA.

## Termická analýza historického zdicího materiálu

Pro zkoumání vlastností vzorku, při teplotním zatížení, jsme zvolili metodu DSC v kombinaci s TGA prováděnou prostřednictvím laboratoře tepelných vlastností, reologie a koroze stavebních materiálů fakulty stavební VŠB TUO. Ze studovaných cihel bylo odebráno pojivo v podobě prášku, které bylo následně naváženo a umístěno do kelímku. Pecní atmosférou je vzduch.

Velmi podstatným krokem je správně zvolený teplotní program. V našem případě byl volen rozsah teplot od 0 °C do 1100 °C a teplotní gradient 10 °C/min.

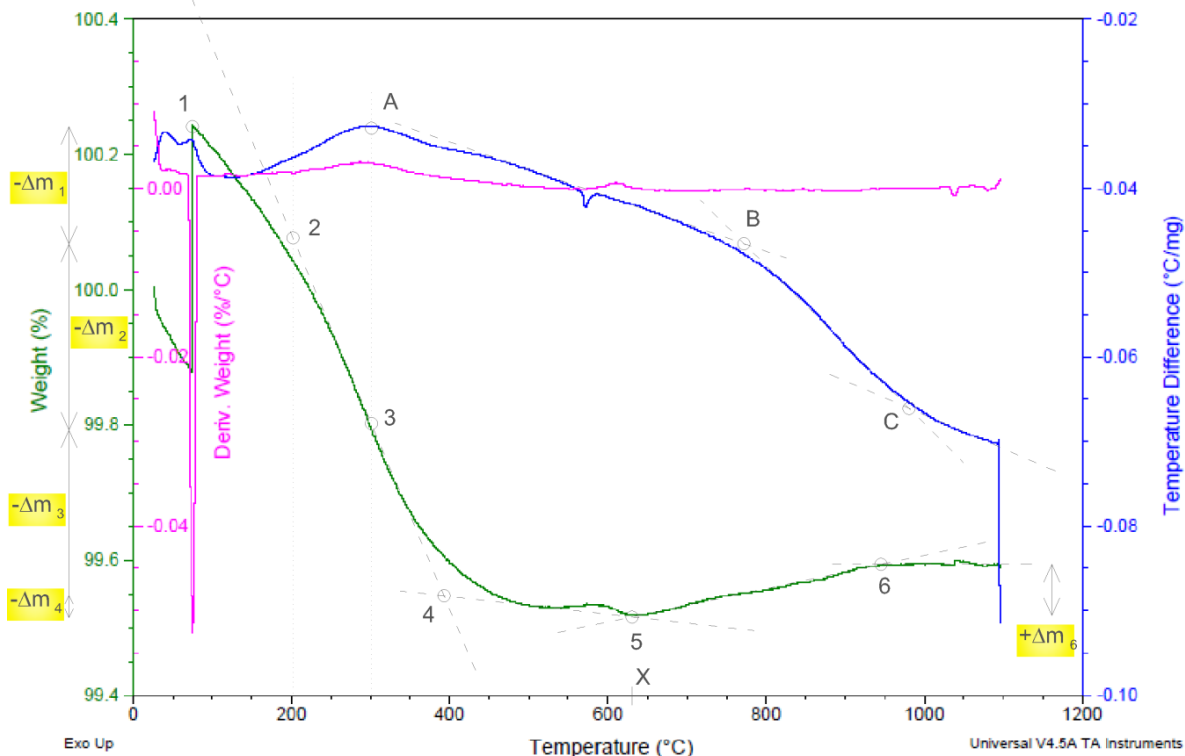


Obr. č. 81: Křivka DSC- TGA pro vzorek č. 14110 (V1)

Sample: 14111\_V2/C  
 Size: 19.5910 mg  
 Method: Ramp  
 Comment: DP Krejčí, 10C/min, do 1100C, air

DSC-TGA

File: F:\14111\_V2C.001  
 Operator: murinova  
 Run Date: 04-Nov-2013 13:44  
 Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

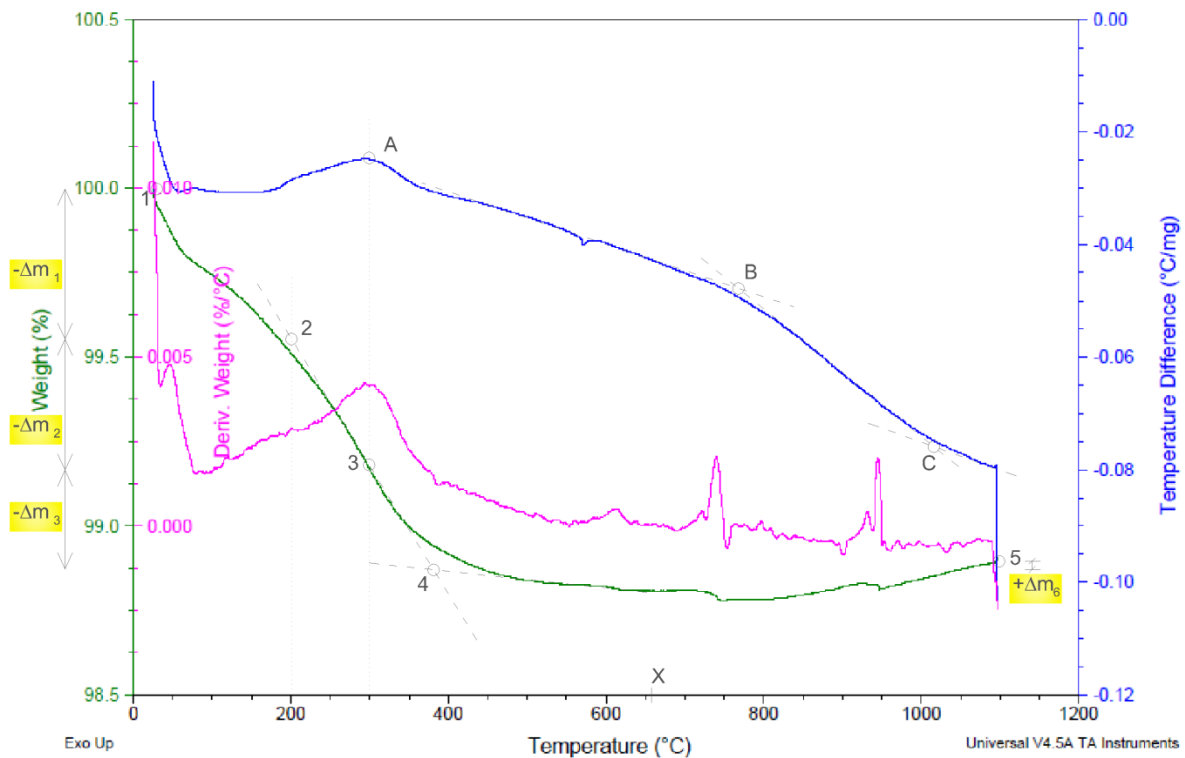


Obr. č. 82: Křivka DSC- TGA pro vzorek č. 14111 (V2)

Sample: 14112\_V3/C  
 Size: 20.0890 mg  
 Method: Ramp  
 Comment: DP Krejčí, 10C/min, do 1100C, air

DSC-TGA

File: F:\14112\_V3C.001  
 Operator: murinova  
 Run Date: 05-Nov-2013 06:36  
 Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

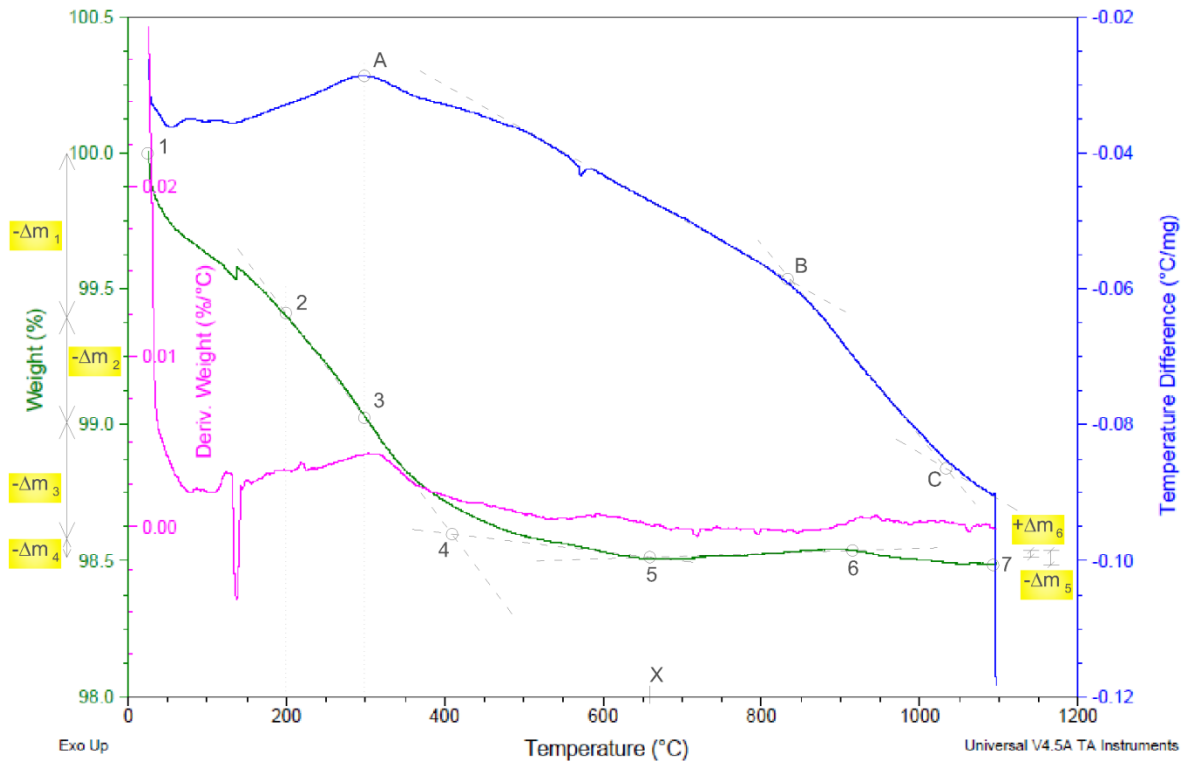


Obr. č. 83: Křivka DSC- TGA pro vzorek č. 14112 (V3)

Sample: 14113\_V4/C  
 Size: 19.8400 mg  
 Method: Ramp  
 Comment: DP Krejčí, 10C/min, do 1100C, air

DSC-TGA

File: F:\14113\_V4C.001  
 Operator: murinova  
 Run Date: 05-Nov-2013 10:59  
 Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

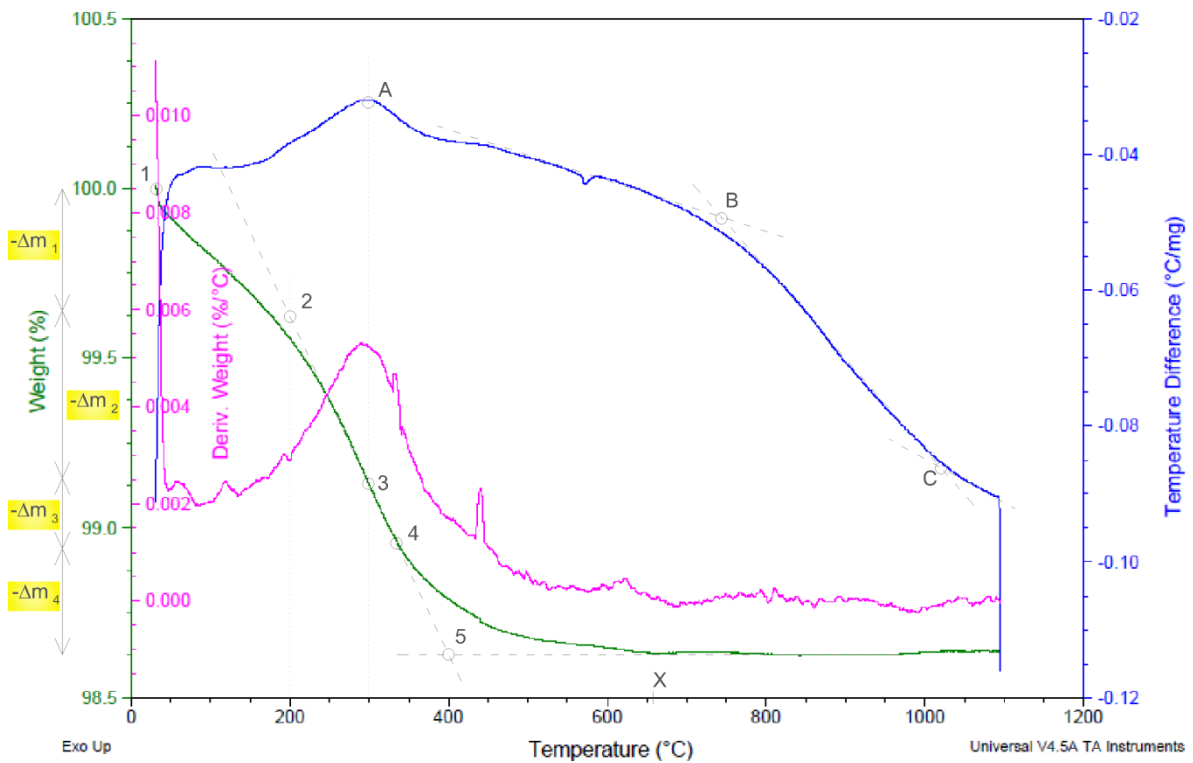


Obr. č. 84: Křivka DSC- TGA pro vzorek č. 14113 (V4)

Sample: 14114\_V5/C  
 Size: 20.7200 mg  
 Method: Ramp  
 Comment: DP Krejčí, 10C/min, do 1100C, air

DSC-TGA

File: F:\14114\_V5C.001  
 Operator: murinova  
 Run Date: 05-Nov-2013 13:36  
 Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

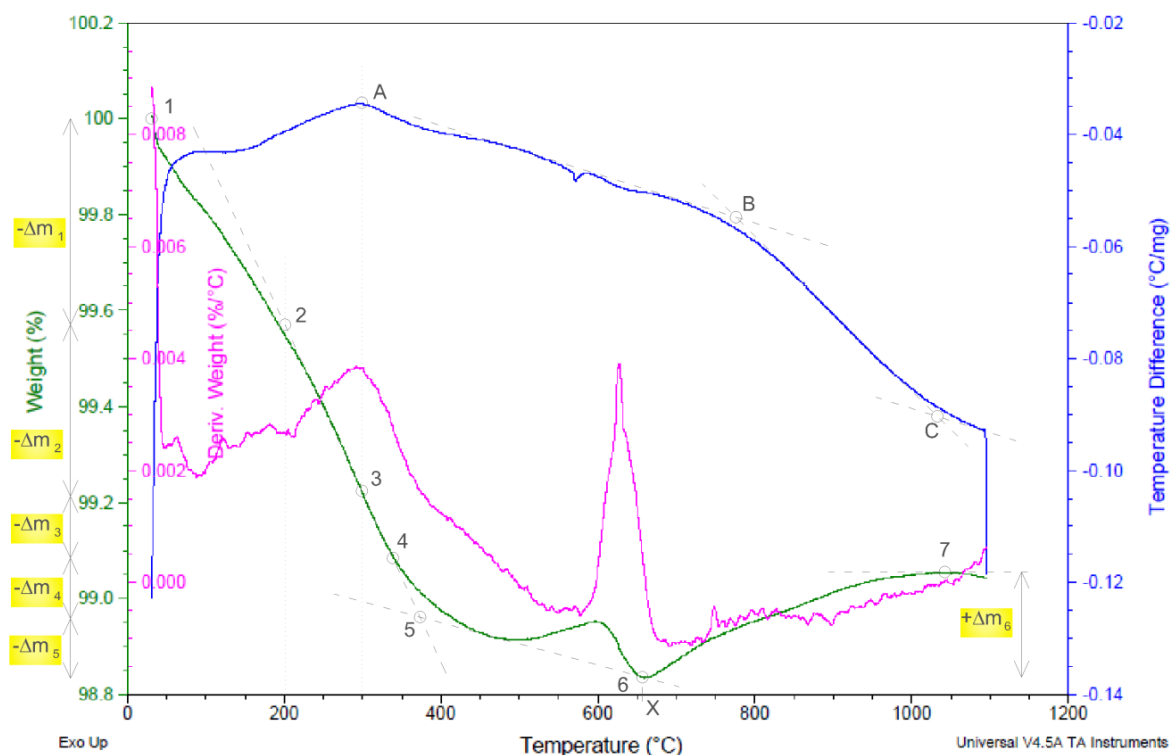


Obr. č. 85: Křivka DSC- TGA pro vzorek č. 14114 (V5)

Sample: 14115\_V6/C  
 Size: 20.2130 mg  
 Method: Ramp  
 Comment: DP Krejčí, 10C/min, do 1100C, air

### DSC-TGA

File: F:\14115\_V6C.001  
 Operator: murinova  
 Run Date: 05-Nov-2013 16:07  
 Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20



Obr. č. 86: Křivka DSC- TGA pro vzorek č. 14115 (V5)

### Vyhodnocení termické analýzy DSC-TGA

Výstupem provedené termické analýzy, které byly podrobeny všechny vzorky cihel, jsou TG křivka (zelená), DTA křivka (modrá) a křivka derivace hmotnosti (růžová).

Průběh DTA křivky vypovídá o stabilizaci vzorku, která nastává mezi body A až B a následném rozkladu (slíd a jílových minerálů) od bodu B, tedy k endotermní reakci. V první fázi zahřívání (do 300 °C) se projevuje změna hmotnosti, z důvodu uvolňování vody ve vzorku. Ve všech vzorcích dochází při teplotě cca 573 °C k transformaci křemene ( $\alpha \rightarrow \beta$  Q).

### Tabulka č. 12: Hodnoty teplot v bodech A, B, C, X

ANALYTICKÉ ČÍSLO	ZNAČENÍ FAST	DSC - TGA			
		Teplota oxidace (bod A)	Teplota výpalu (bod X)	Teplota počátku rozkladu (bod B)	Teplota slinovací (bod C)
		°C	°C	°C	°C
14110	V1	300	685	858	1058
14111	V2	300	639	775	981
14112	V3	300	653	766	1015
14113	V4	300	662	835	1035
14114	V5	300	660	747	1023
14115	V6	300	659	777	1015

Z TG křivky vyplývá, že ve většině případů (14110, 14111, 14112, 14113, 14115) dochází při zahřívání nejprve k rozkladu, tedy ztrátě hmotnosti (do bodu X) a následně k nárůstu hmotnosti způsobené oxidací železa- slinování (od bodu X). Pouze u vzorku 14114 nenastává fáze nárůstu hmotnosti.

**Tabulka č. 13: Procentuální úbytky a nárůsty hmotnosti (část 1)**

ANALYTICKÉ ČÍSLO	ZNAČENÍ FAST	ANALYTICKÁ DATA- DTA									
		Režim ohřevu DSC/TG	Úbytek $\Delta m_1$			Úbytek $\Delta m_2$			Úbytek $\Delta m_3$		
			- $\Delta m$	Teplota	Teplota	- $\Delta m$	Teplota	Teplota	- $\Delta m$	Teplota	Teplota
			°C/min	%	°C	°C	%	°C	°C	%	°C
14110	V1	10	0,2	25	100	0,3	100	200	0,37	200	300
14111	V2	10	0,14	78	200	0,3	200	300	0,25	300	389
14112	V3	10	0,42	31	200	0,44	200	300	0,19	300	377
14113	V4	10	0,59	35	200	0,39	200	300	0,37	300	412
14114	V5	10	0,36	39	200	0,5	200	300	0,21	300	339
14115	V6	10	0,43	39	200	0,35	200	300	0,13	300	342

**Tabulka č. 14: Procentuální úbytky a nárůsty hmotnosti (část 2)**

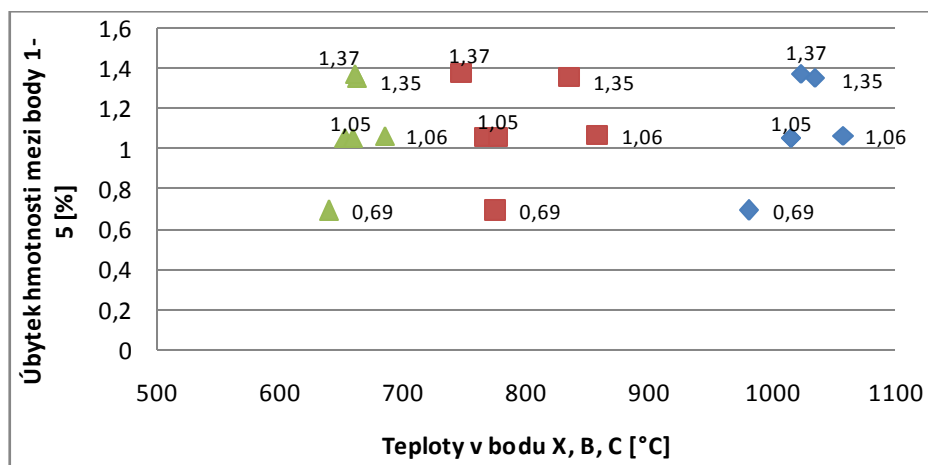
ANALYTICKÉ ČÍSLO	ZNAČENÍ FAST	ANALYTICKÁ DATA- DTA									
		Režim ohřevu DSC/TG	Úbytek $\Delta m_4$			Úbytek $\Delta m_5$			Nárůst $\Delta m_6$		
			- $\Delta m$	Teplota	Teplota	- $\Delta m$	Teplota	Teplota	+ $\Delta m$	Teplota	Teplota
			°C/min	%	°C	°C	%	°C	°C	%	°C
14110	V1	10	0,19	300	362	0,13	362	685	0,1	685	965
14111	V2	10	0,04	389	639	-	-	-	0,09	639	962
14112	V3	10	-	-	-	-	-	-	0,04	377	1100
14113	V4	10	0,14	412	662	0,07	908	1100	0,03	662	908
14114	V5	10	0,3	339	396	-	-	-	-	-	-
14115	V6	10	0,14	342	377	0,11	377	659	0,22	659	1039

Ze zjištěných nárůstů a úbytků (viz tabulka č. 15) byly zpracovány grafy č. 1 a č. 2, zobrazující závislosti na teplotě výpalu (X), teplotě počátku rozkladu (B) a teplotě slinovací (C). Z těchto grafů je patrné rozdělení vzorků do dvou skupin. První skupinu tvoří vzorky 14111, 14112, 14114 a 14115. Druhou pak vzorky 14110 a 14113.

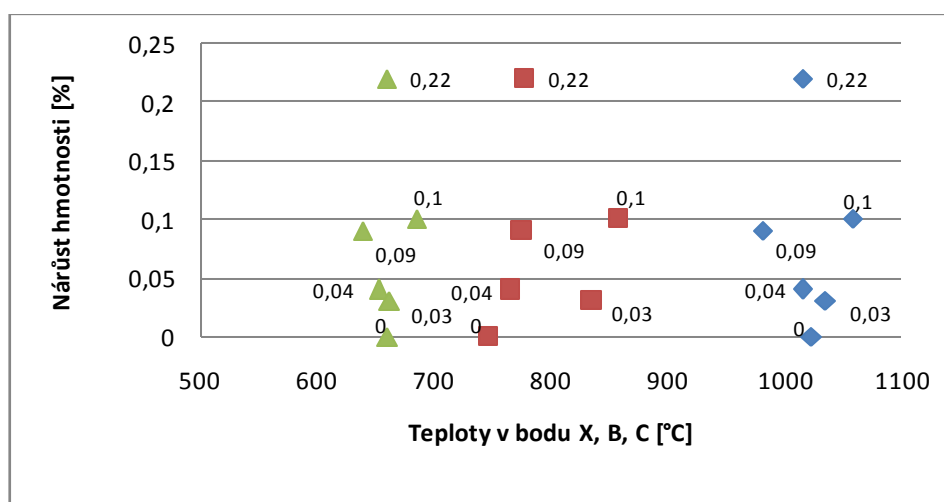
**Tabulka č. 15: Celkové úbytky a nárůsty hmotnosti**

ANALYTICKÉ ČÍSLO	ZNAČENÍ FAST	Úbytek hmotnosti	Nárůst hmotnosti
		%	%
14110	V1	1,06	0,10
14111	V2	0,69	0,09
14112	V3	1,05	0,04
14113	V4	1,35	0,03
14114	V5	1,37	0,00
14115	V6	1,05	0,22

**Graf č. 1: Závislost úbytků hmotnosti na teplotách v bodech X, B, C**



**Graf č. 2: Závislost nárůstů hmotnosti na teplotách v bodech X, B, C**





## 10. Vyhodnocení zjištěných vlastností historických zdících prvků

Vzhledem ke složení konstrukce (barokní sokl a nadezdívka z 50. let 20. století) lze konstatovat, že vzorky jsou pravděpodobně dvojího původu a to barokní cihly ze 17. století a cihly z 50. let 20. století (viz obr. č. 46). V potaz je také nutné brát možnost, že při dozdivání konstrukce v 50. letech byly použity cihly pocházející z objektů kláštera, které byly demolovány (například po požáru).

Areál Kláštera premonstrátů v Želivě disponoval vlastní cihelnou, což dokazují spisy z počátku 20. století. Boužel se nedochávaly bližší informace o způsobu výroby cihel a používaných zařízeních, což spolu s rozmanitými možnostmi původu, stěžuje zařazení studovaných vzorků do určitého období.

### 10.1. Makroskopické vyhodnocení

Zkoušené vzorky cihel byly dle vizuálního posouzení značně nehomogenní (viz obr. č. 85), také zde bylo viditelné nerovnoměrné udusání po celé výšce cihly a tedy s tím související nerovnoměrná porozita.



Obr. č. 87: Vzorek č. 3 (I4112) obsahující zrno o velikosti cca 3cm

Struktura všech vzorků byla jemnozrná, z hlediska textury bylo znatelné hnětení. Vzorky byly z hlediska barvy střepe dvojí a to cihly se světlou červenou střepe (V1, V4, V5) a s tmavě hnědo červenou střepe (V2, V3, V6).

### 10.2. Fyzikálně mechanické vyhodnocení

Vyhodnocení fyzikálně mechanických vlastností sestává z hodnocení nasákavosti (N), pórovitosti (P), zdánlivé hustoty (ZH), dynamického modulu pružnosti ( $E_{bu}$ ), objemové hmotnosti (OH) a pevnosti v tlaku (R). Vybrané vlastnosti byly posouzeny s referenčním vzorkem dnešní plně pálené cihly z Hlučína (N1), na které bylo provedeno měření dynamického modulu pružnosti a stanovena objemová hmotnost. Ostatní hodnoty, pro porovnání s historickými cihlami, byly dány výrobcem cihly, a tedy je nebylo nutné měřit.

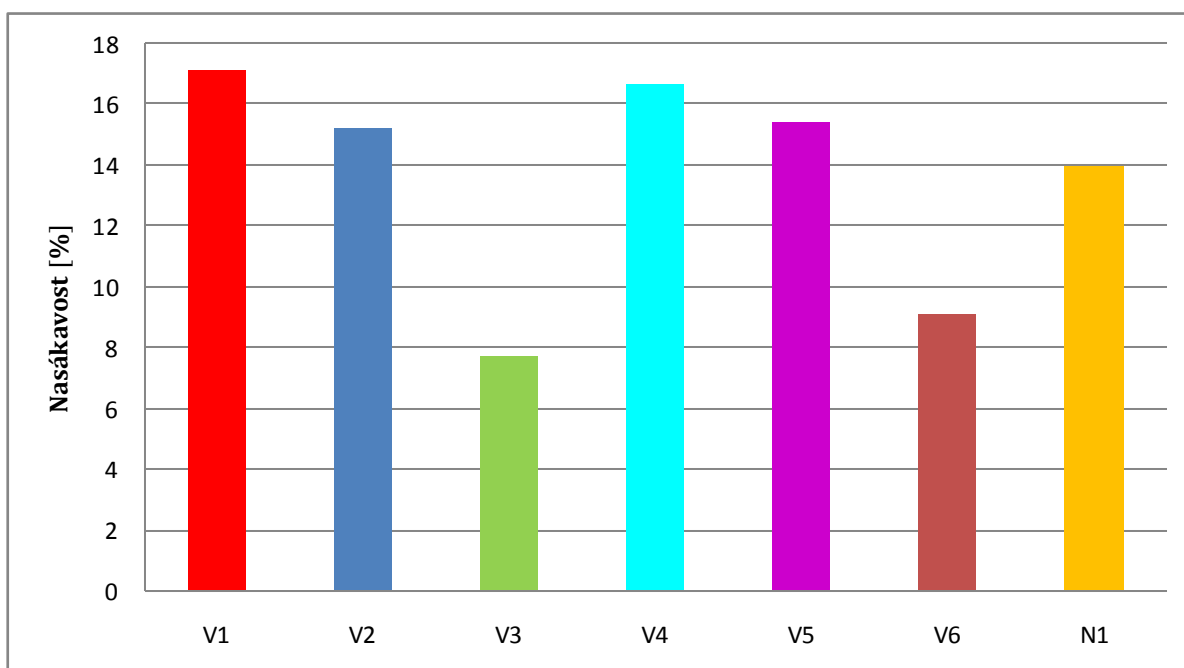
**Tabulka č. 16: Změřené fyzikálně mechanické vlastnosti**

ANALYTICKÉ ČÍSLO	ZNAČENÍ FAST	N	P	ZH	$\rho$	$E_{bu}$ $w=0\%$	$E_{bu}$ $w=\max$	R
		%	%	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	MPa	MPa	MPa
14110	V1	17	29	2362	1770	4046	2972	13
14111	V2	15	27	2486	1867	7179	5689	18
14112	V3	8	16	2403	2061	15056	12567	8
14113	V4	17	30	2509	1798	3882	2905	8
14114	V5	15	28	2453	1839	9569	8998	16
14115	V6	9	18	2402	2064	11335	14348	19

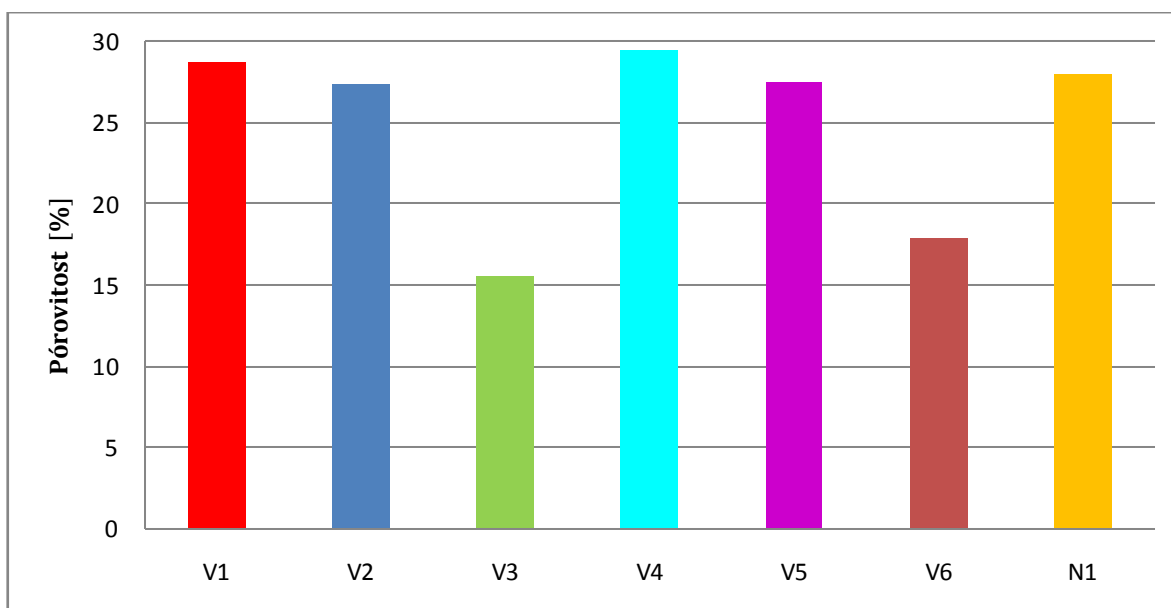
### Nasákavost, pórovitost

Naměřené hodnoty nasákavosti a pórovitosti se v některých případech značně liší, což je pravděpodobně způsobeno rozdílnou pórovitostí a nehomogenitou těchto cihel. V porovnání s dnešními plnými pálenými cihly, jejichž nasákavost činí přibližně 14% a pórovitost 28% dosahovaly lepších hodnot vzorky č. 14112 a 14115. Naopak vzorky č. 14110, 14111, 14113 a 14114 vykazovaly mírně zvýšenou nasákavost a pórovitost. Porovnání všech vzorků je patrné z grafu č. 3 a grafu č. 4.

**Graf č. 3: Porovnání vzorků cihel z hlediska nasákavosti**



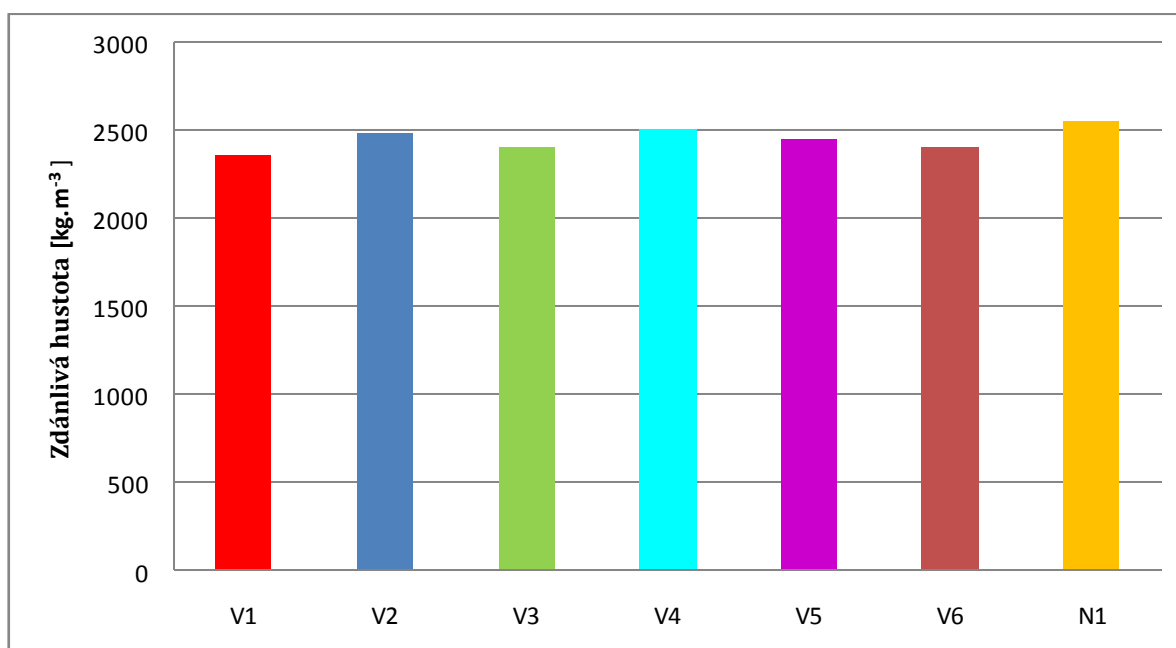
**Graf č. 4: Porovnání vzorků cihel z hlediska pórovitosti**



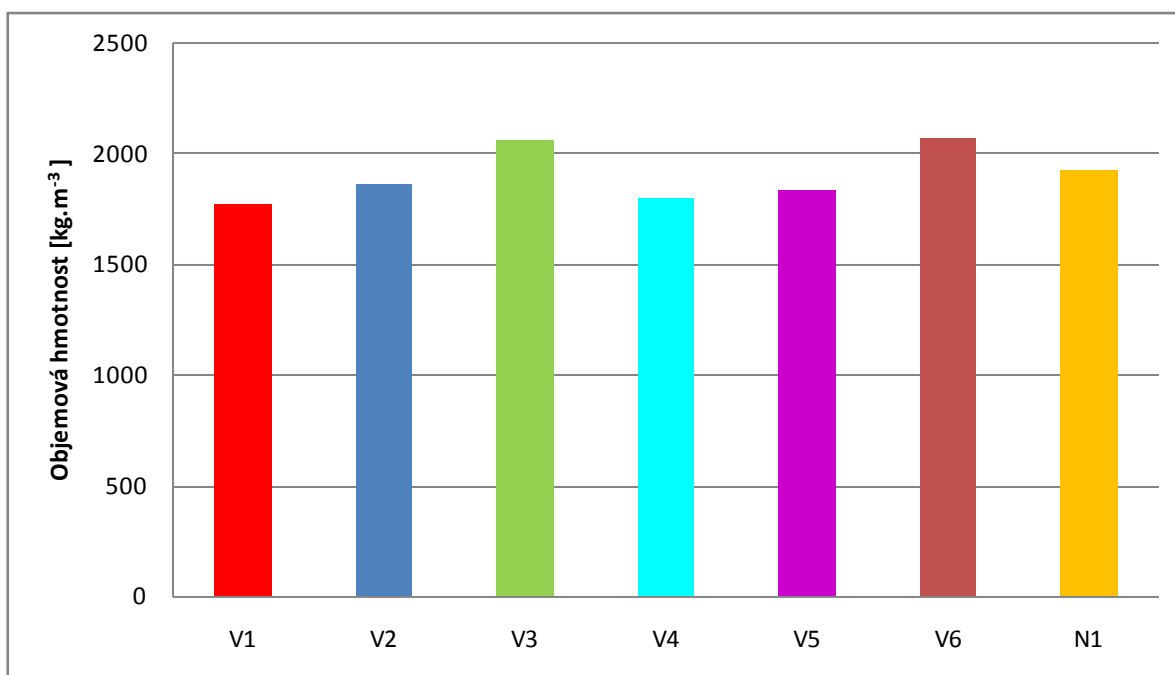
Zdánlivá hustota, objemová hmotnost

Zkoušené historické zdící prvky dosahovaly zdánlivé hustoty v intervalu od  $2362 \text{ kg/m}^3$  po  $2509 \text{ kg/m}^3$  a objemové hmotnosti od  $1770 \text{ kg/m}^3$  po  $2064 \text{ kg/m}^3$ . V obou případech se nadá říci, že by se vzorky výrazně vychýlily od dnešních plných cihel, jejich objemová hmotnost se pohybuje okolo  $1900 \text{ kg/m}^3$  a zdánlivá hustota je přibližně  $2550 \text{ kg/m}^3$ . Referenční vzorek cihly z Hlučína disponoval objemovou hmotností  $1930 \text{ kg/m}^3$ . Nejnižší objemová hmotnost byla u vzorkům V1 a V4.

**Graf č. 5: Porovnání vzorků cihel z hlediska zdánlivé hustoty**



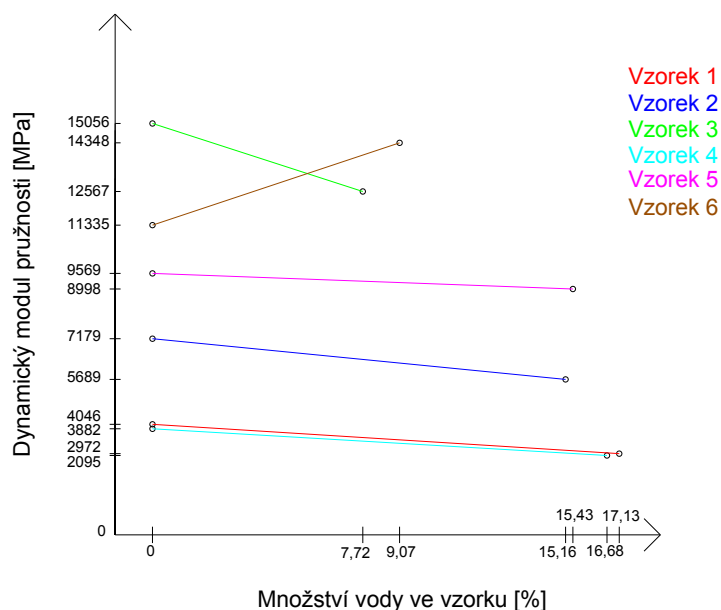
**Graf č. 6: Porovnání vzorků cihel z hlediska objemové hmotnosti**



### Dynamický modul pružnosti

Dynamický modul pružnosti byl měřen ve dvou situacích a to s nulovou vlhkostí a s maximální vlhkostí materiálu (v nasáknutém stavu). Důležitým faktorem ovlivňujícím dynamický modul pružnosti je tedy vlhkost materiálu. Vývoj dynamického modulu pružnosti s rostoucí vlhkostí je znázorněn na grafu č. 7. Téměř všechny vzorky vykazovaly pokles dynamického modulu pružnosti s rostoucí vlhkostí, výjimkou byl vzorek č. V6.

**Graf č. 7: Závislost dynamického modulu pružnosti na vlhkosti vzorku**

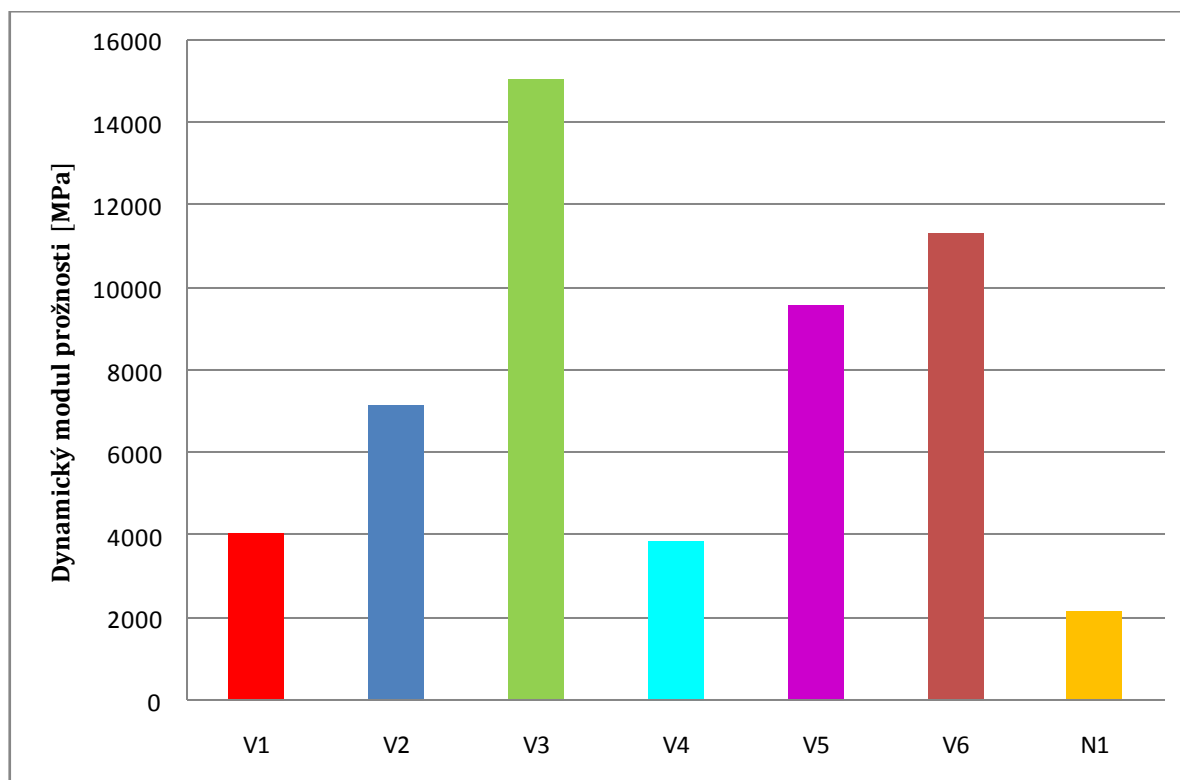


Změřené hodnoty dynamického modulu pružnosti se pohybovaly ve velmi širokém intervalu hodnot a to od 4000 MPa až po 15000 MPa. Rozdíly v hodnotách způsobila pravděpodobně homogenita, objemová hmotnost a složení materiálu. Nejvyšší dynamický modul pružnosti vykazovaly vzorky s nejvyšší objemovou hmotností, tedy 14112 a 14115. Z hlediska porovnání dynamických modulů pružnosti zkoušených vzorků a novodobé cihly N1, jejichž modul je 2176 MPa (viz tabulka č. 17), lze konstatovat, že všechny zkoušené vzorky měly lepší hodnoty oproti novodobé cihle N1 a to až 7x větší, v případě vzorků 14112 a 14115.

**Tabulka č. 17: Dynamický modul pružnosti novodobé cihly**

Označení vzorku	Poloha měření	Délka (m)	Rychlost (km/s)	Čas (μs)	Dynamický modul pružnosti (MPa)	Průměrný dynamický modul pružnosti (MPa)
N1	Poloha 1	0,289	1,13	255,0	2365,2	2175,7
	Poloha 2	0,289	1,14	253,0	2407,2	
	Poloha 3	0,141	1,02	138,5	1927,1	
	Poloha 4	0,141	1,04	135,3	2003,4	

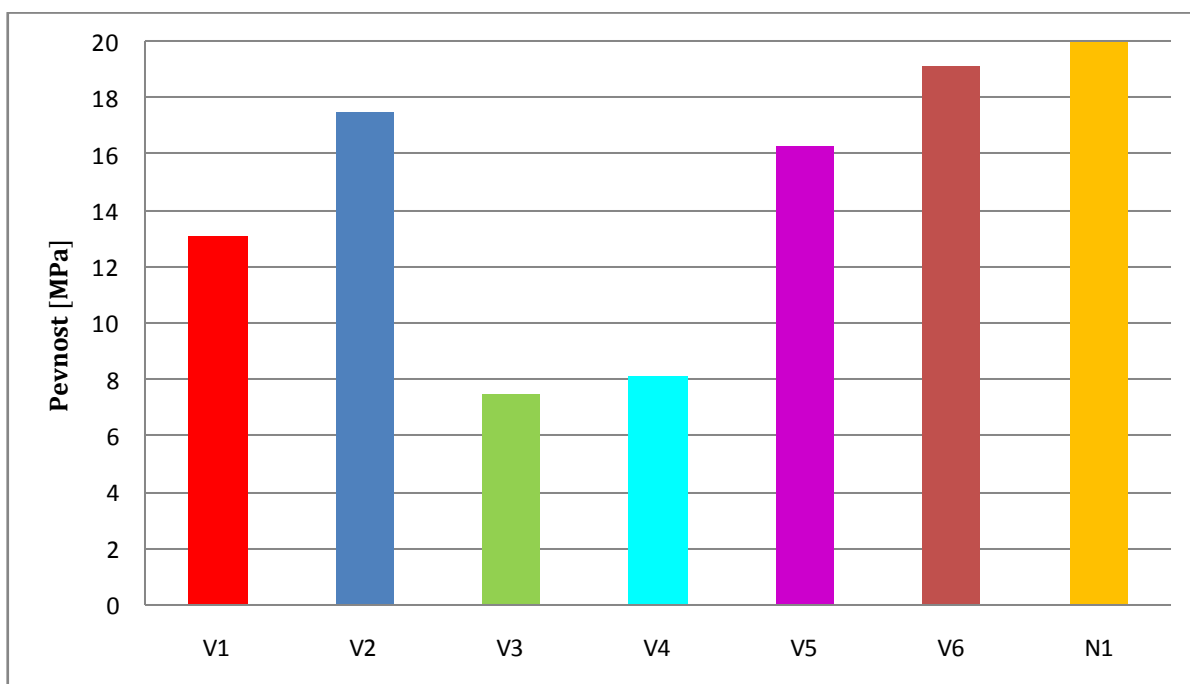
**Graf č. 8: Porovnání vzorků cihel z hlediska dynamického modulu pružnosti**



## Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku historického zděného materiálu nedosahovala hodnoty pevnosti dnešních materiálů, která byla u vzorku z cihelna z Hlučína 20 MPa (viz graf č. 9). Každá zkoušená krychlička, o rozměrech cca 50 x 50 x 50 mm, měla individuální strukturu, pórovitost i složení, což způsobilo rozptýlení v hodnotách pevnosti, u každého zkoušeného vzorku. Problémem historických cihel tedy nebyl nekvalitní materiál výroby, ale nedokonalé zpracování, což vedlo k nehomogenní struktuře vzniklých cihel.

**Graf č. 9: Porovnání vzorků cihel z hlediska pevnosti v tlaku**



### **10.3. Analytické vyhodnocení**

Na vzorcích plných pálených cihel byly provedeny analytické metody:

- Petrografie (výbrus)
- Infračervená spektroskopie
- Termická analýza DSC-TGA

Ze zjištěných výsledků vyplývá, že vzorky lze rozdělit do dvou souborů a to:

- Soubor A- 14110 a 14113
- Soubor B- 14111, 14112, 14114 a 14115

#### Soubor A lze z hlediska analytického charakterizovat:

- Jemně zrnitým střepem s hojnými slídkami.
- Lemy hematitu (po limonitu) kolem zrn ostřiva nebo v místech rozložených metaslíd.
- Sekundárním výskytem Ca dusičnanů (organická kontaminace).
- Objemovým podílem ostřiva u vzorku 14110 10% až 15% a u vzorku 14113 25% až 30%.
- Teplotou výpalu podle bodu B na křivce DSC-TGA u vzorku 14110 858°C a u vzorku 14113 835°C. Tedy okolo teploty 847 °C.

#### Soubor B lze z hlediska analytického charakterizovat:

- Identickým složením střepu a ostřiva se stopovou přítomností sekundárního výskytu Ca dusičnanů (organická kontaminace).
- Tmavým, prachovitým střepem (s prachovitými ostrohrannými zrny křemene).
- Velmi malým podílem jemných i hrubých šupin slíd.
- Zrnitostně nevytřídným ostřivem.
- Objemovým podílem ostřiva u vzorku 14111 30% až 35%, u vzorku 14112 25% až 30%, u vzorku 14114 30% až 35% a u vzorku 14115 25% až 30%.
- Teplotou výpalu podle bodu B na křivce DSC-TGA u vzorku 14111 775°C, u vzorku 14112 766°C, u vzorku 14114 747°C a u vzorku 14115 777°C. Tedy okolo teploty 762 °C.

#### Předpoklad vzniku cihel ze souboru A

Díky těmto poznatkům je možné konstatovat, že cihly ze souboru A (14110, 14113), podle jejich složení, textury a struktury byly vyrobeny v jedné cihelně, z jemnozrných, slídnatých, jemně prachovitých hlín, ve kterých zrna křemene nebo hornin byla hlavní součástí cihlářské suroviny. Na povrchu zrn byl primárně uložen limonit, později transformovaný na hematit, který je v lemu. Jejich výpal je stejnoměrný (viz obr. č. 43, 46), teplota výpalu cca 850°C. Cihly nemají výraznou deformaci tvaru.

#### Předpoklad vzniku cihel ze souboru B

Dle složení, textury a struktury souboru B (14111, 14112, 14114, 14115) lze usuzovat, že cihly byly vyrobeny také v jedné cihelně, která využívala surovinu, v jejímž podílu se objevují křemenná zrna, s charakterem sprašových (prachovitých) hlín. Avšak z širšího pohledu tato surovina neodpovídá eolickým sedimentům, jak by bylo možné usuzovat



podle tvaru prachovitých křemenných zrn, ale spíše jejich charakter odpovídá svahovým hlínám nebo hlínám technologicky druhotně upravovaným, přidáním písčitého ostřiva z místních zdrojů. Jejich výpal je nestejněměrný (viz obr. č. 44, 45, 47 48), teplota výpalu cca 760-770°C. Cihly vykazují deformaci tvaru a obsahují dutiny, vzniklé při tvarování cihly.

## 11. Závěr a doporučení pro další výzkum

Četnost památkově chráněných objektů na území České republiky je velmi vysoká, tyto stavby tvoří historické stavební dědictví a je nutná jejich údržba a obnova pro další generace obyvatel a to za pomoci materiálů a postupů, které zachovají hodnoty dřívějšího způsobu života a architektury.

Řešeným problémem této práce bylo určení vlastností historického zdíciho materiálu, cihel plných pálených, pocházejících z rajskeho dvora památkově chráněného objektu konventu Kláštera premonstrátů v Želivě. Pro hodnocení materiálu byly využity metody vizuální, fyzikálně mechanické a analytické.

Z naměřených hodnot je patrná různorodost zkoušených vzorků a to jak z hlediska struktury, složení, teplot výpalu, způsobu zpracování, tak i rozměrů. Cihly disponovaly značnou nehomogenitou a nižšími pevnostmi, oproti dnešním výrobkům stejného typu. Novodobé cihly překonaly jen vyšším dynamickým modulem. Ostatní zkoušené vlastnosti, jako byla nasákavost, pórovitost, zdánlivá hustota a objemová hmotnost se dokázaly vlastnostem dnešních cihel vyrovnat či je, v případě některých vzorků, překonat. Z analytických metod měření vyplynulo rozdělení studovaných vzorků do dvou skupin s charakteristickými znaky z hlediska složením cihel, pravděpodobných surovin pro jejich výrobu, teploty výpalu apod..

Vzhledem k nedostačeným informacím z hlediska původu cihel nebyla možná přesná datace vzorků. Pro objektivní hodnocení stáří vzorků by bylo zapotřebí provedení dalších analytických zkoušek. Zařazení materiálu do období jejich vzniku by také vyřešil odběr malt či omítek z dané konstrukce a jejich následné analytické posouzení nebo větší počet zkoumaných vzorků.

Závěrem lze tady konstatovat, že problémem zkoušených vzorků nebyl nekvalitní vstupní materiál, ale následné kroky zpracování suroviny, což vedlo k největšímu problému historických cihel, nehomogenně a z toho plynoucí složitosti porovnání zdánlivě neporovnatelných vzorků.

## **Seznam obrázků:**

- 1) Šnekový lis s parním pohonem
- 2) Hliněné cihly Zikkuratu v Uru- Sumerská říše (2100 př. n. l.)
- 3) Cihla pocházející z přelomu 7 – 8 století př. n. l.
- 4) Cihelné zdivo Velké čínské zdi
- 5) Gotická cihla pocházející z Kvasnického hradu
- 6) Dřevěná forma pro výrobu cihel
- 7) Vepřovice
- 8) Barokní cihla
- 9) Schéma modifikačních přeměn oxidu křemičitého
- 10) Schéma pohybu mlecích koulí v bubnovém mlýnu
- 11) Schéma přípravy plastického těsta z kalousových koláčů
- 12) Schéma vakuového šnekového lisu
- 13) Schéma znázornění pretokového lisování s přebytkem vlhké směsi
- 14) Schéma působení lisovací síly na keramickou směs
- 15) Průběh sušení v sušárně
- 16) Bigotova křivka
- 17) Termografická analýza vzorku kaolinitu
- 18) Model slinování dvou kulových částic bez přítomnosti kapalné fáze
- 19) Zdivo z lomového kamene
- 20) Zdivo kyklopské
- 21) Zdivo řádkové hrubé, zdivo řádkové čisté
- 22) Zdivo haklíkové
- 23) Zdivo kvádrové
- 24) Cihla plná pálená
- 25) Cihla vápenopísková
- 26) Cihla děrovaná
- 27) Roznesení tlaků ve zdivu při převázání o půl cihly
- 28) Cihla POROTHERM
- 29) Tvárnice z pórobetonu s integrovanou izolací
- 30) Tvárnice z lehkého betonu- liapor beton (vlevo), pórobeton (vpravo)
- 31) Smíšené zdivo- kombinace plných pálených cihel a lomového kamene
- 32) Provedení sádrové destičky

- 33) *a- trhlina tahová, b- trhlina tlaková, c- trhlina smyková*
- 34) *Zdroje vlhnutí zdiva*
- 35) *Schéma postupu vyšetřování existující konstrukce*
- 36) *Odběr jádrového vývrtu*
- 37) *Laboratorní destruktivní zkoušky*
- 38) *Odrhová zkouška*
- 39) *Nedestruktivní metody*
- 40) *Letecký pohled na areál Želivského kláštera*
- 41) *Koncepce areálu Kláštera premonstrátů v Želivě*
- 42) *Historický vývoj kláštera*
- 43) *Budova konventu*
- 44) *Rajský dvůr*
- 45) *Dnešní podoba rajského dvora*
- 46) *Rajský dvůr před rekonstrukcí*
- 47) *Rajský dvůr v průběhu rekonstrukce*
- 48) *Složení mezi piliřového zdiva*
- 49) *Vzorky historických cihel V1 až V6*
- 50) *Řez vzorku 14110 (V1)*
- 51) *Řez vzorku 14111 (V2)*
- 52) *Řez vzorku 14112 (V3)*
- 53) *Řez vzorku 14113 (V4)*
- 54) *Řez vzorku 14114 (V5)*
- 55) *Řez vzorku 14115 (V6)*
- 56) *Postup zkoušky nasákavosti*
- 57) *Polohy měření dynamického modulu pružnosti*
- 58) *Měření dynamického modulu pružnosti*
- 59) *Zkouška pevnosti v tlaku*
- 60) *Přehled kroků pro zhotovení mikroskopického snímku výbrusu*
- 61) *Místo odběru vzorku pro výbrus z cihly 14110*
- 62) *Mikroskopický snímek výbrusu cihly 14110*
- 63) *Místo odběru vzorku pro výbrus z cihly 14111*
- 64) *Mikroskopický snímek výbrusu cihly 14111*
- 65) *Místo odběru vzorku pro výbrus z cihly 14112*
- 66) *Mikroskopický snímek výbrusu cihly 14112*

- 67) *Místo odběru vzorku pro výbrus z cihly 14113*
- 68) *Mikroskopický snímek výbrusu cihly 14113*
- 69) *Místo odběru vzorku pro výbrus z cihly 14114*
- 70) *Mikroskopický snímek výbrusu cihly 14114*
- 71) *Místo odběru vzorku pro výbrus z cihly 14115*
- 72) *Mikroskopický snímek výbrusu cihly 14115*
- 73) *Infračervené spektrum vzorku č. 14110*
- 74) *Infračervené spektrum vzorku č. 14111*
- 75) *Infračervené spektrum vzorku č. 14112*
- 76) *Infračervené spektrum vzorku č. 14113*
- 77) *Infračervené spektrum vzorku č. 14114*
- 78) *Infračervené spektrum vzorku č. 14115*
- 79) *Křivky TG a DTG [23,24]*
- 80) *Křivka DTA; 1- endotermický děj, 2-exotermický děj [25]*
- 81) *Křivka DSC- TGA pro vzorek č. 14110*
- 82) *Křivka DSC- TGA pro vzorek č. 14111*
- 83) *Křivka DSC- TGA pro vzorek č. 14112*
- 84) *Křivka DSC- TGA pro vzorek č. 14113*
- 85) *Křivka DSC- TGA pro vzorek č. 14114*
- 86) *Křivka DSC- TGA pro vzorek č. 14115*
- 87) *Vzorek č. 3 obsahující zrno o velikosti cca 3cm*

**Seznam grafů:**

- 1) *Závislost úbytků hmotnosti na teplotách v bodech X, B, C*
- 2) *Závislost nárůstů hmotnosti na teplotách v bodech X, B, C*
- 3) *Porovnání vzorků cihel z hlediska nasákavosti*
- 4) *Porovnání vzorků cihel z hlediska pórovitosti*
- 5) *Porovnání vzorků cihel z hlediska zdánlivé hustoty*
- 6) *Porovnání vzorků cihel z hlediska objemové hmotnosti*
- 7) *Závislost dynamického modulu pružnosti na vlhkosti vzorku*
- 8) *Porovnání vzorků cihel z hlediska dynamického modulu pružnosti*
- 9) *Porovnání vzorků cihel z hlediska pevnosti v tlaku*

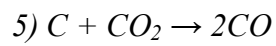
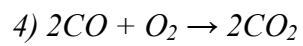
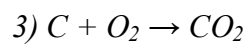
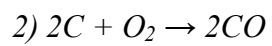
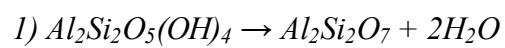
## Seznam tabulek:

- 1) Přehled základních procesů při výpalu keramické směsi
- 2) Dehydroxidace jílových minerálů
- 3) Stupeň poškození objektu
- 4) Přehled naměřených vstupních hodnot jednotlivých vzorků
- 5) Vizuální posouzení vzorků cihel
- 6) Přehled naměřených hodnot fyzikálních vlastností vzorků
- 7) Dynamický modul pružnosti pro vysušené cihly
- 8) Dynamický modul pružnosti pro nasáknuté cihly
- 9) Pevnost v tlaku a objemová hmotnost zkoušených cihel
- 10) Vyhodnocení infračervených spekter vzorků č. 14110- 14115
- 11) Druhy termické analýzy
- 12) Hodnoty teplot v bodech A, B, C, X
- 13) Procentuální úbytky a nárůsty hmotnosti (část 1)
- 14) Procentuální úbytky a nárůsty hmotnosti (část 2)
- 15) Celkové úbytky a nárůsty hmotnosti
- 16) Změřené fyzikálně mechanické vlastnosti
- 17) Dynamický modul pružnosti novodobé cihly

## Seznam vzorců:

- |                                    |  |                       |
|------------------------------------|--|-----------------------|
| 1) Vlhkost materiálu:              | $W = \frac{m_w - m_s}{m_s} * 100$          | [%]                   |
| 2) Smrštění sušením:               | $S_s = \frac{l_0 - l}{l_0} * 100$          | [%]                   |
| 3) Koeficient citlivosti k sušení: | $k_c = \frac{W_c}{W_k}$                    | [-]                   |
| 4) Nasákavost:                     | $N = \frac{m_n - m_s}{m_s} * 100$          | [%]                   |
| 5) Pórovitost:                     | $P = \frac{m_n - m_s}{m_n - m_{nw}} * 100$ | [%]                   |
| 6) Zdánlivá hustota:               | $ZH = \frac{m_s}{m_s - m_{nw}} * \rho_v$   | [kg.m <sup>-3</sup> ] |
| 7) Dynamický modul pružnosti:      | $E_{bu} = \frac{v^2 * \rho}{\kappa}$       | [MPa]                 |
| 8) Pevnost v tlaku:                | $R = \frac{F}{A} * 1000$                   | [MPa]                 |
| 9) Objemová hmotnost:              | $\rho = \frac{m}{V}$                       | [kg.m <sup>-3</sup> ] |

**Seznam chemických rovnic:**





## Seznam literatury:

- [1] BALÍK, M.: *Odvhlčování staveb*, Praha: GRADA PUBLISHING, 2008
- [2] BLAŽEK, A.: *Moderní metody v analytické chemii*, Praha: SNTL Praha, 1972
- [3] BROWN, M. E.: *Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry*, Elsevier B. V., 1998
- [4] HYNYKÝŘ, V.; KUTZENDORFER, J.: *Technologie keramiky*, Praha: Silikátový svaz, 2008
- [5] HÁJEK, P.: *Pozemní stavitelství I.*, Praha: SOBOTÁLES, 2005
- [6] HOBST, L.; ADÁMEK, J.; CIKERLE, P.; SCHMID, P.: *Diagnostika stavebních konstrukcí*, Brno: CERM, 2005
- [7] KLEČKA, K.; KOLÁŘ K.; VLČEK M.: *Metody průzkumů vlhkých staveb*, Praha: WTA CZ, 2007
- [8] KLOUŽKOVÁ, A.; ZEMANOVÁ, P.; KLOUŽEK, J.: *Termická analýza*, Praha, VŠCHT PRAHA, 2012
- [9] PYTLÍK, P.: *Cihlářství*, Brno: CERM s.r.o., 1995
- [10] PYTLÍK, P.; SOKOLÁŘ, R.: *Stavební keramika*, Brno: CERM s.r.o., 2002
- [11] ŠKABRADA, J.: *Konstrukce historických staveb*, Praha: Argo, 2003
- [12] ŠTARHA, P.; TRÁVNÍČEK, Z.: *Termická analýza*, Olomouc, 2011
- [13] VACULÍKOVÁ, L.; PLEVOVÁ, E.: *Identification of clay minerals and micas in sedimentary rock*, Acta Geodyn. Geomater, 2005
- [14] VLČEK, J.: *Keramické materiály (nepublikovaný materiál)*, 2012
- [15] VLČEK, M.; MOUDRÝ, I.; NOVOTNÝ, M.; BENEŠ, P.; MACEKOVÁ, V.: *Poruchy a rekonstrukce staveb*, Brno: ERA GROUP, 2003
- [16] WITZANY, J.: *PDR- poruchy, degradace a rekonstrukce*, Praha: Česká technika, 2010  
pravidla pro vyztužené a nevyztužené konstrukce
- [17] ČSN 72 1009 Příprava konečného vzorku pro chemické a fyzikální zkoušky keramických výrobků a surovin.
- [18] ČSN 72 5010 Stanovení nasákavosti, zdánlivé pórovitosti, pórovitosti, objemové hmotnosti a zdánlivé hustoty vypálených keramických směsí a výrobků.
- [19] ČSN 73 0040 Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva
- [20] ČSN EN 1996-1-1 Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí- Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené konstrukce
- [21] ČSN EN 772-21 Zkušební metody pro zdící prvky- Část 21: Stanovení nasákavosti pálených a vápenopískových zdících prvků ve studené vodě

- [22] <http://cihla.hrabcuk.cz/cihla-palena.php>
- [23] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Kv%C3%A1d%C5%99%C3%ADkov%C3%A9\\_zdivo](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kv%C3%A1d%C5%99%C3%ADkov%C3%A9_zdivo)
- [24] <https://dspace.vsb.cz/handle/10084/81577>
- [25] <http://ema.blog.sk/detail.html?a=db04cfb3410836ff61b0a24dca499c1e>
- [26] [http://pelhrimovskyy.denik.cz/zpravy\\_region/ambity-klastera-prosly-zasadni-opravou-20130709.html](http://pelhrimovskyy.denik.cz/zpravy_region/ambity-klastera-prosly-zasadni-opravou-20130709.html)
- [27] <http://stanekjan.blog.idnes.cz/c/241140/Colors-of-China.html>
- [28] <http://stavebnictvi-architektura.studentske.cz/2010/03/historie-cihly.html>
- [29] <http://stavebnikomunita.cz/page/pozemni-stavitelstvi-obsah>
- [30] <http://stavba.tzb-info.cz/podlahy/9370-diagnostika-trhlin-v-prumyslovych-vsypovych-betonovych-podlahach>
- [31] <http://www.akademon.cz/clanekDetail.asp?name=Klino ve%20pismo%20online&source=0502>
- [32] <http://www.ceskenoviny.cz/regiony/zpravy/zelivsti-premonstrati-obnovuji-barokni-ambit-budou-v-nem-vystavy/864255>
- [33] <http://www.cihlarstvi.estranky.cz/>
- [34] <http://www.dedictvivysociny.cz/cz/kultura/pamatky-50/cirkevni-3/?id=525#>
- [35] <http://www.fast.vsb.cz/223/cs/studijni-materialy/?predmet=223-0202>
- [36] [http://www.fce.vutbr.cz/BZK/sulak.p/zdivo/1\\_prednaska.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/BZK/sulak.p/zdivo/1_prednaska.pdf)
- [37] <http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2003texty/pdf/2-5/np/stehlik.pdf>
- [38] <http://www.nazeleno.cz/stavba/stavebni-material/nizkoenergeticke-domy-postavite-z-porothermu-i-bez-zatepleni.aspx>
- [39] <http://www.kamenictvi.net/vzdi5.htm#>
- [40] <http://www.quickchem.cz/Reference/10/photo23.htm>
- [41] <http://www.sedlstav.cz/detail/1558-vapenopiskova-cihla-velky-format>
- [42] <http://www.stavby-siburek.cz/Kamenne-zdivo.html>
- [43] <http://www.stavospol.cz/produkty/16041382002-cihla-nf-1-8-aku-p30-240x115x71/>
- [44] [http://www.vscht.cz/ktk/www\\_324/lab/texty/ana/IC.pdf](http://www.vscht.cz/ktk/www_324/lab/texty/ana/IC.pdf)
- [45] <http://zeliv.eu/turisticky-portal/historie-klastera/>
- [46] <http://zeliv.eu/turisticky-portal/mapa-klasterniho-area lu/>
- [47] <http://zeliv.eu/turisticky-portal/stavebne-historicky-vyvoj-klasterniho-area lu/>
- [48] [www.konstrukce.cvut.cz/file\\_download/35](http://www.konstrukce.cvut.cz/file_download/35)
- [49] [www.sz.k.fce.vutbr.cz/vyuka/BI02/UvodniPrednaska.ppt](http://www.sz.k.fce.vutbr.cz/vyuka/BI02/UvodniPrednaska.ppt)