



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ**

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**VLASTNOSTI SOUČASNÝCH PLNÝCH
PÁLENÝCH CIHEL**

THE PROPERTIES OF CONTEMPORARY CLAY BRICKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lenka Polláková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. RADOMÍR SOKOLÁŘ, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Lenka Polláková
Název	Vlastnosti současných plných pálených cihel
Vedoucí práce	doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA,
dr.h.c.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

[1] Pytlík, P., Sokolář, R. Stavební keramika. Technologie, vlastnosti a využití. CERM Brno 2002, ISBN 80-7204-234-3

[2] Cihlářský svaz Čech a Moravy. Cihlářský lexikon. 1. vydání. České Budějovice: CSCM, 2001. 128 s.

[3] Lach, V. Mikrostruktura stavebních látek. 2. vyd. Brno: VUT, 1991. 178 s. ISBN 80-214-0309-8

[4] Pytlík, P. Cihlářství, 1. vyd. Brno CERM 1995, 264 s.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Náhrada plných pálených cihel při rekonstrukcích historických objektů může být realizována dvěma způsoby. Pokud okolnosti dovolí, využívají se historické cihly odebrané z bouraných historických objektů, jejichž kvalita je ovšem značně různorodá a dostupnost omezená. Druhou možností je využití nově vyrobených cihel, jež naráží především na ne zcela odpovídající vzhled v očích investorů.

Plná pálená cihla je v České republice vyráběna velmi omezeně několika malými cihelnami, které disponují někdy vpravdě až historickou technologií vesměs s výpalem v kruhových pecích. Tomu také odpovídá značná variabilita jejich vlastností.

Cíle bakalářské práce lze shrnout do následujících bodů:

- v teoretické části práce shrnout legislativní požadavky na plnou pálenou cihlu (historie vs. současnost), vytvořit databázi současných výrobců v ČR a SR (sortiment, objem výroby, deklarované parametry apod.) a formou rešerše shrnout vývoj cihlářství v Evropě s vyznačením hlavních milníků z pohledu technologie výroby.
- v praktické části posoudit možnosti (odhalit potenciál surovinové základny) současných výrobců a stanovit především slínavost dostupných výrobních směsí z různých cihelen v ČR (primárně cihelna Šitbořice) s ohledem na jejich mrazuvzdornost a vzhled (barva střepu).

Předpokládaný rozsah práce 40 - 50 stran.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Teoretická část této bakalářské práce se zaměřuje především na vývoj cihlářství z pohledu technologie, surovin pro výrobu a cihelnými výrobky. Součástí práce jsou požadavky na cihly plně pálené, jejich vlastnosti a databáze současných výrobců v ČR a na Slovensku. V praktické části jsou posouzeny možnosti výrobců a stanoveny vlastnosti zkoušených cihel zejména slínavost s ohledem na mrazuvzdornost a vzhled.

KLÍČOVÁ SLOVA

Cihlářství, výroba cihel, cihla plná pálená, cihelny ČR, cihelny SR

ABSTRACT

Theoretical part of this bachelor's thesis describes historical overview of progress of brickwork, including their technology, materials for production and products. Another part are requirements for solid burnt bricks, their properties and database of current manufacturers in the Czech republic and Slovakia. The practical part assesses the possibilities of manufacturers and determines the properties of the tested bricks, especially the salinity including frost resistance and appearance.

KEYWORDS

Brickwork, production of bricks, solid burnt brick, czech brickyards, slovakian brickyards

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

POLLÁKOVÁ, L. *Vlastnosti současných plných pálených cihel*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních dílců. 2020. 63 s., 0 s. příloh. Vedoucí práce: doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Vlastnosti současných plných pálených cihel* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2020

Lenka Polláková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Radomíru Sokoláři Ph.D. za pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování této bakalářské práce.

V Brně dne 22. 5. 2020

.....

(podpis autora)

OBSAH

I. TEORETICKÁ ČÁST	10
1. Úvod	10
2. Keramika	11
2.1. Historie keramiky	11
3. Cihlářství	12
3.1. Historický vývoj cihlářského výrobku	12
3.2. Suroviny pro výrobu cihlářských výrobků	14
3.3. Technologie výroby cihel v minulosti.....	15
3.4. Technologie výroby dnes	19
3.5. Tvary a rozměry cihlářského výrobku.....	23
3.6. Značení cihel	25
3.7. Cihlářské výrobky	26
3.8. Cihlářské výrobky pro zdění.....	27
3.9. Cihla plná a její legislativní požadavky.....	28
3.10. Vady cihlářských výrobků	30
4. Cihelny v ČR a na Slovensku	33
4.1. Cihelna Šitbořice.....	33
4.2. Cihelna Polom	34
4.3. Cihelna Miskolezy, Česká Skalice.....	35
4.4. Cihelna Bratronice	35
4.5. Cihelna Vysoké Mýto	35
4.6. Cihelny Zlín Malenovice a Holešov, Žopy	36
4.7. Cihelna Praha, Štěrboholy	37
4.8. Pezinská cihelna.....	37
4.9. Myjavská cihelna	37
4.10. Ipelská cihelna	38

II. PRAKTICKÁ ČÁST	39
5. Cíl práce	39
6. Metodika zkoušení lícových cihel	39
6.1. Stanovení vzhledu a barvy.....	40
6.2. Stanovení skutečných rozměrů.....	41
6.3. Stanovení nasákavosti a objemové hmotnosti	42
6.4. Stanovení mrazuvzdornosti.....	43
6.4.1. Stanovení mrazuvzdornosti přímo.....	43
6.4.2. Stanovení mrazuvzdornosti nepřímou.....	43
6.5. Stanovení výskytu cicvárů	44
6.6. Stanovení náchylnosti k tvorbě výkvětů	45
6.7. Stanovení pevnosti v tlaku	46
6.7.1. Stanovení pevnosti v tlaku destruktivní metodou.....	46
6.7.2. Nedestruktivní metoda – Schmidt LB	47
7. Experimentální část	48
7.1. Popis zkoušených vzorků	49
7.2. Nasákavost a objemová hmotnost	49
7.3. Mrazuvzdornost	51
7.4. Výkvětovitost	52
7.5. Vztlínavost.....	53
7.6. Chemické složení	54
7.7. Objemové změny při výpalu.....	56
8. Závěr	57
9. Literatura	58

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. Úvod

Hlína je považována za nejstarší a nepoužívanější materiál ve světě a její objevení jako stavebního materiálu se stalo velkým průlomem. Nejstarší stavby z cihel nepálených se datují až do 8. tisíciletí před naším letopočtem a dodnes takovéto stavby, které si i přes své stáří stále zachovávají svůj vzhled, můžeme nacházet po celém světě. Doba rozkvětu nepálených cihel skončila ve 20. století, kdy ji nahradily moderní technologie a nové stavební materiály.

Cihla je víceúčelový stavební materiál, který je při stavbě nejčastěji spojován maltou. Používá se především kvůli svým vlastnostem jako je objemová hmotnost, pevnost v tlaku, odolnost vůči mrazu, dobrá propustnost vlhkosti a především její dlouhá životnost. V dnešní době používáme cihly plně pálené, lehčené, děrované, tepelně-izolační a zvukově-izolační.

Cílem této bakalářské práce je zkoušení dostupných výsušků z různých cihelen a odhalení jejich potenciální surovinové základny a jejich vlastností. Úkolem je pomocí chemické analýzy stanovit surovinové složení směsí a pomocí normových zkoušek stanovit slínavost, zejména jejich mrazuvzdornost a vzhled. V práci se nakonec zhodnotí dosažené výsledky.

2. Keramika

Keramické výrobky patří mezi silikáty. Jsou to anorganické nekovové látky, které se získávají tepelným zpracováním speciálních přírodních surovin, obsahujících hlavně oxidy křemíku. Mezi silikáty patří keramika, sklo, maltoviny a smalty. Dřívější označení keramiky bylo pálená hlína. Nyní je keramika definována jako pevná anorganická polykrystalická látka vyrobená keramickým výrobním způsobem z minerálních surovin s převládající složkou jílových minerálů, vytvarovaná a potom vypálená na vysokou teplotu (většinou nad 900 °C, ale menší než je teplota tání). Při keramickém výrobním způsobu se nejdříve z jemně dispergované suroviny vytvaruje vylisek ve tvaru budoucího výrobku, který se pak vypálením zpevní a získá požadované technické parametry. Mezi vlastnosti keramiky patří jejich vysoká chemická odolnost, trvanlivost a křehkost. [1]

2.1. Historie Keramiky

Zhotovování keramiky patří mezi nejstarší lidské dovednosti, v prvopočátcích zaměřené na tvorbu nádob z hlíny, které vypálením získaly vlastnosti potřebné pro uchovávání kapalin a potravin. Nádoby z hlíny se zhotovovaly již mnohá tisíciletí před vynalezením hrnčířského kruhu (užití kruhu je datováno na 4 tisíce let před naším letopočtem na základě mnoha archeologických vykopávek). Velkého rozvoje dosáhlo hrnčířství v antickém Řecku, které jednotlivým epochám vývoje společnosti přizpůsobovalo tvar a vzhled svých výrobků. Název keramika pochází z řeckého slova keramos (původně název pro roh na pití) a později se i čtvrt hrnčířů v Athénách nazývala Keramikos. [1]

Jako druhá nejstarší keramická výroba po hrnčířství je výroba cihlářská, která už spadá do stavební keramiky. Stavební materiály mají velkou hmotnost, a proto jejich výrobu v minulosti ovlivňovala doprava. Z toho důvodu se používaly místní stavební materiály, jako bylo dřevo, kámen, hlína, sláma atd. Tyto přírodní materiály se pak doplňovaly nepálenou hlínou, která byla tvarována spolu s rostlinnými zbytky na cihly (vepřovice). Pálené cihly se podle archeologických vykopávek začaly využívat ve 3. tisíciletí př. n. l. Spolu s historickým vývojem se začaly zdokonalovat i stavby, zejména v době antiky. [1]

3. Cihlářství

V současnosti jsou cihlářské výrobky klasickým stavebním materiálem pro pozemní stavby. Mají svou tradici, estetiku a dobré vlastnosti. V západních zemích zaujímají tyto výrobky 3. místo na žebříčku nejpoužívanějších stavebních materiálů. Cenové náklady na stavební materiály řadí cihlářské výrobky na 7. místo. Pro cihlářskou výrobu, na rozdíl od jiných keramických výrobních oborů, je typický velký objem výroby. Ten klade nároky na značnou těžbu hlín, která zmenšuje plošný rozsah zemědělské půdy (i když se dá po několika letech opět využít k zemědělským účelům). Cihlová a terakotová architektura jsou ve svém oboru dominantní a velký rozvoj průmyslu vyvinul mnoho různých typů cihel všech tvarů a barev. Díky moderním strojům, výkopovým zařízením, výkonným elektrickým motorům a moderním tunelovým pecím se výroba cihel stala mnohem produktivnější a efektivnější. Cihly mohou být vyrobeny z různých materiálů, z nichž nejčastější jsou jíly, ale také křemičitan vápenatý a beton. V průběhu roku 2007 byla pomocí vedlejších produktů z uhelných elektráren vytvořena nová popílková cihla. [4] [5]

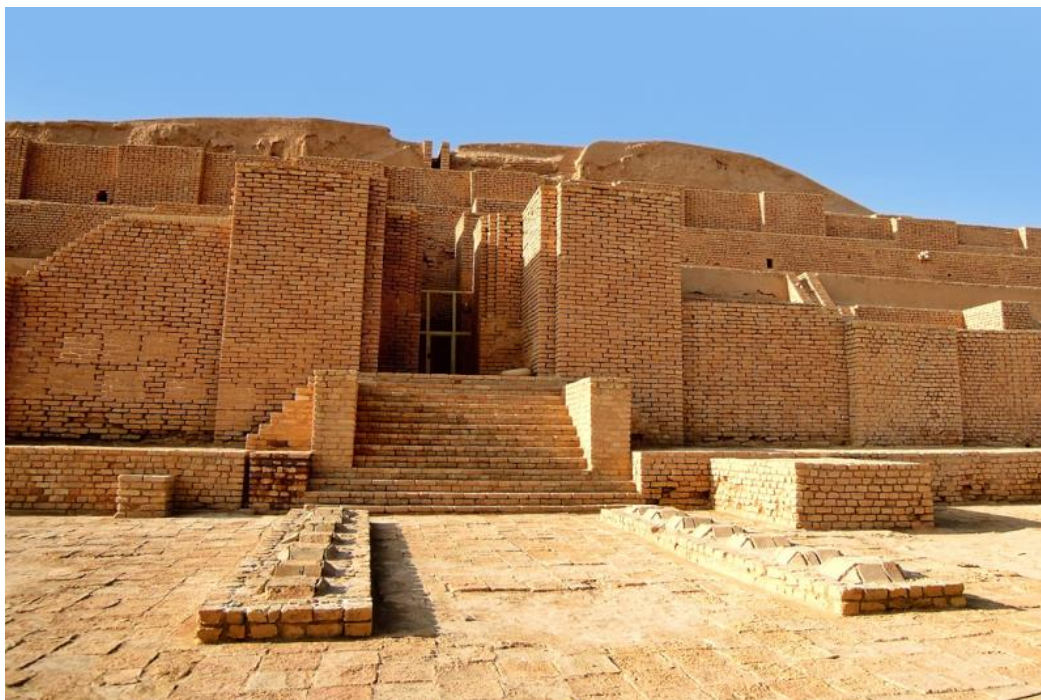
Kvalitní cihly mají ve srovnání s kamenem velkou výhodu, protože jsou spolehlivé, odolné vůči povětrnostním vlivům a působení kyselin, znečištění a ohni. Cihly se mohou lišit, podle specifických požadavků, barvou, velikostí a tvarem, a proto je cihla pro stavbu výhodnější než kámen. Cihly jsou také mnohem levnější než náklady spojené s řezáním kamene. Existují však některé cihly, které jsou více porézní a při styku s vodou jsou proto náchylnější k vlhkosti. Pro dosažení co nejlepších výsledků, při jakýchkoli stavebních pracích, je třeba zvolit správnou cihlu v souladu se specifickými požadavky. [5]

3.1. Historický vývoj cihlářství

Jedním z nejdůležitějších období historie cihly je starověk. V neolitickém Jerichu v letech 8300 – 7600 před naším letopočtem vznikají ručně hnětené cihly z bláta a vody přirozeně vysoušené sluncem. Mají přibližně obdélníkový tvar o rozměrech 260x100x100 mm. Později se objevují větší cihly ve tvaru rybích kostí s rozměry 400x150x100 mm a charakteristickými otisky palců. [6]

V Mezopotámii se v letech 5900 – 5300 před naším letopočtem pro výrobu cihel začínají používat dřevěné formy a vzácně se objevují pálené cihly (výroba je však na tuto dobu náročná). Jejich výroba se rozvinula v období asi 2000 let př. n. l. a pálená cihla se stává velmi hodnotným stavebním materiálem na výstavbu jen významných budov. Babylon 604 – 526 př. n. l. přináší výrobu umělecky tvarovaných a glazovaných pálených cihel (Visuté zahrady Semiramidiny). [6]

Středověké cihlářství navazuje na tradici Římskou, která byla po pádu říše udržována v oblasti středomoří. Pálené cihly se v Římě začaly vyrábět v 1. století našeho letopočtu. Římané stavěli nejen zdi a podlahy, ale i sloupy, pilíře, celé několikapatrové domy a také cihelné klenby. Prostřednictvím římských legií, s využitím mobilních pecí, se rozšířila cihla do mnoha částí Římské říše. Tyto cihly byly často označovány cejchem dané legie. [8]



Obr.1 Zikkurat Chogha Zanbil, Irán [38]

Do Evropy se tato tradice začala šířit od 8. století s křesťanstvím. K nám přicházelo cihlářství zejména z Francie a Flander nebo z Lombardie. Ve 13. století přichází na naše území výroba masivních cihel, tzv. BUCHET. Ve městech se od počátku 15. století stala cihla běžně používanou stavebninou. Cihlářství bylo svobodným řemeslem. Podle dobových pramenů se cihláři dělili na cihláře zdící, kteří vyráběli cihly a cihláře krycí, ti vyráběli krytinu. Cihláři se často usazovali při městech, pokud zde našli kvalitní cihlářskou hlínu. Za zmínku stojí dvě cihelny v Chebu z roku 1360 a cihelna v Žatci z roku 1380. [8]

Nejstarším způsobem vypalování cihlářských výrobků bylo vypalování polní, milířové. Pak se používaly komorové pece s odděleným prostorem pro oheň a pro cihly. Mezi další typy patřila německá otevřená pec. V 19. století to byla pec kruhová. Varianta Hoffmannovy kruhové pece byla patentována v roce 1858, u nás byla tato pec zřízená v Praze v roce 1869. [8]

Velké změny nastaly také v ruční výrobě cihel. V Anglii byl vydán první patent na cihlářský tvářecí stroj Johnem Ethringtonem v roce 1619. Na Moravě vynalezl na konci 18. století ruční cihlářský stroj Josef Hardtmuth. Od poloviny 19. století se začínají objevovat první tvářecí stroje poháněné parou. V roce 1855 je vydán patent Josefa Karlička a Josefa Martinka. [8]

3.2. Suroviny pro výrobu cihlářských výrobků

Jsou většinou přírodní látky, které svým chemickým, mineralogickým a granulometrickým složením vytváří předpoklady pro požadované vlastnosti keramického střepu nebo glazury. Dělí se na suroviny plastické a neplastické. Mezi plastické suroviny patří kaolin a jílové zeminy. Mezi neplastické suroviny patří žárovzdorné pálené zeminy, křemence, živcové suroviny, ostatní látky používané jako ostřiva a suroviny pro glazury. [1] [4]

Jílové zeminy vznikly zvětráváním hornin, které obsahovaly velké množství živcových minerálů (žula), jejich rozkladem, přemístěním a následnou sedimentací. Jejich charakter závisí na složení výchozí horniny a na povaze prostředí. Mohou být sypké nebo zpevněné. Obsahují velké množství různých minerálních zrn, které mohou být velké až 2 mm. Podle velikosti zrn je dělíme na jíloviny, prachoviny a pískoviny. Dále se dělí podle obsahu významných nerostů na vápenaté, které obsahují více než 5 % CaCO_3 , a na bezvápenaté, obsahující méně než 5 % CaCO_3 . Jílové zeminy se vyznačují tím, že po smíchání s vodou vytvářejí plastické těsto, které jsme dále schopni vytvářet, a po vypálení propůjčují výrobku charakteristickou červenou barvu. [1] [4]

Dalšími vlastnostmi po výpalu je vysoká pevnost, odolnost proti působení vody a povětrnostem. V surovinách se vyskytují také další nerosty, které ale nemají plastické vlastnosti. Mezi tyto nerosty patří krystalicky dobře vyvinutý kaolinit a nedokonale krystalicky vyvinutý montmorillonit a illit. [1] [4]

Neplastické suroviny jsou nezbytnou součástí většiny výrobních směsí. Jejich použití závisí na druhu výrobku (hrubá a jemná keramika), účelu použití a na druhu a vlastnosti neplastické přísady. Přísady plní funkci ostřiva, taviva, lehčiva a barviva. [1] [4]

Ostřiva zvyšují teplotu slinutí a v plastickém těstě snižují citlivost k sušení. Jedná se o přírodní nebo umělé látky, které v syrovém stavu snižují plastičnost tvárného těsta a při výpalu reagují s oxidy v ostatních složkách a vytvářejí hutný střepek. Ostřiva se podle chemické povahy dělí na křemičitá, ta obsahují více než 92 % SiO_2 , nebo hlinitokřemičitá, to jsou hlavně vypálené lupky nebo jíly. [1] [4]

Taviva se účastní tvorby taveniny, při níž snižují teplotu slinutí a tání. Dělí se na základní (živcová složka) a eutektiální (suroviny s vhodnou formou tavících oxidů). Nejčastějším tavivem v keramice jsou živce, hlavně živec draselný, sodný a vápenatý. Pro tavící účinek je důležitý obsah alkalických oxidů, Tavitelnost směsí závisí na jemnosti mletí a rychlosti zahřívání. [1] [4]

Lehčiva nám slouží ke snižování objemové hmotnosti keramického střepeku vytvářením pórovité struktury. Dále se používají ke snižování tepelné vodivosti v cihlářství a žárovzdorné technologii. Dělíme je podle způsobu vytváření pórovité struktury na působící nepřímo, jsou to přírodní nebo umělé pevné látky (škvára) s malou objemovou hmotností, nebo působící přímo, látky, které během výpalu vyhoří (např. dřevěné piliny). [1] [4]

3.3. Technologie výroby cihel v minulosti

Cihly se od dávné minulosti vyráběly z jílovité hlíny s nízkým obsahem vápníku a vápenatého písku, nejčastěji z tzv. spraše. Zdroje spraší byly vytvořeny během posledních dob ledových navátím jemného prachového materiálu. Když se tato světlá hlína smíchá s vodou, vznikne plastická hmota, ve které lze vytvořit čistý otisk ruky. [7]



Obr.2 Ruční těžba hlíny v hlíníku [39]

Při výrobě cihel se musely nejdřív z hlíny odstranit nečistoty, kořeny a kameny, protože větší kámen by mohl při výpalu způsobit prasknutí výrobku. Přečištěná hlína se nechala nějakou dobu odležet a pak se do ní přidávalo, jako příměs, ostřivo, které mělo schopnost akumulovat teplo a rovnoměrně zahřívat celý objem cihly, aniž by došlo k jejímu popraskání. Jako ostřivo se nejčastěji používal křemičitý písek, který se do cihlářské hlíny přimíchával v poměru 1:4. Ve starších dobách se používalo i organické ostřivo jako byly obilné plevy a nadrobno nasekaná sláma. Při výpalu pak tyto příměsi shořely a zůstaly po nich dutiny, které zvyšovaly pórovitost daného výrobku. Mezi další výhody ostřiv patřilo snižování náchylnosti plastických surovin k deformaci při sušení a pálení, regulace odběru vlhkosti z materiálu, či redukce tlaku zplodin uvnitř cihly a možnosti popraskání. Navíc organická ostřiva snižovala hmotnost hotové cihly. [7]

Takto připravená cihlářská směs se pak ručně zpracovávala pomocí dřevěných a od 19. století i plechových forem. Vnitřní objem formy byl o cca 8 mm větší než požadovaný rozměr hotového výrobku, protože během výroby cihly docházelo k teplotnímu smrštění. Postup formování cihel byl od starověku až do 19. století velmi podobný. Forma (někdy též nazývaná kadlub) se položila na hladkou desku a uvnitř navlhčila vodou. Pak se posypala jemným pískem a naplnila potřebným množstvím připravené cihlářské hlíny. Důležité bylo vyplnit rovnoměrně celý vnitřní objem formy. Naplněná forma se pak obrátila a sundala a na desce zůstala měkká surová cihla. Aby se vlhká cihla na desku nepřilepila, posypala se deska předem pískem nebo senem. [7]



Obr.3 Dřevěná forma se značením na výrobu cihly [40]

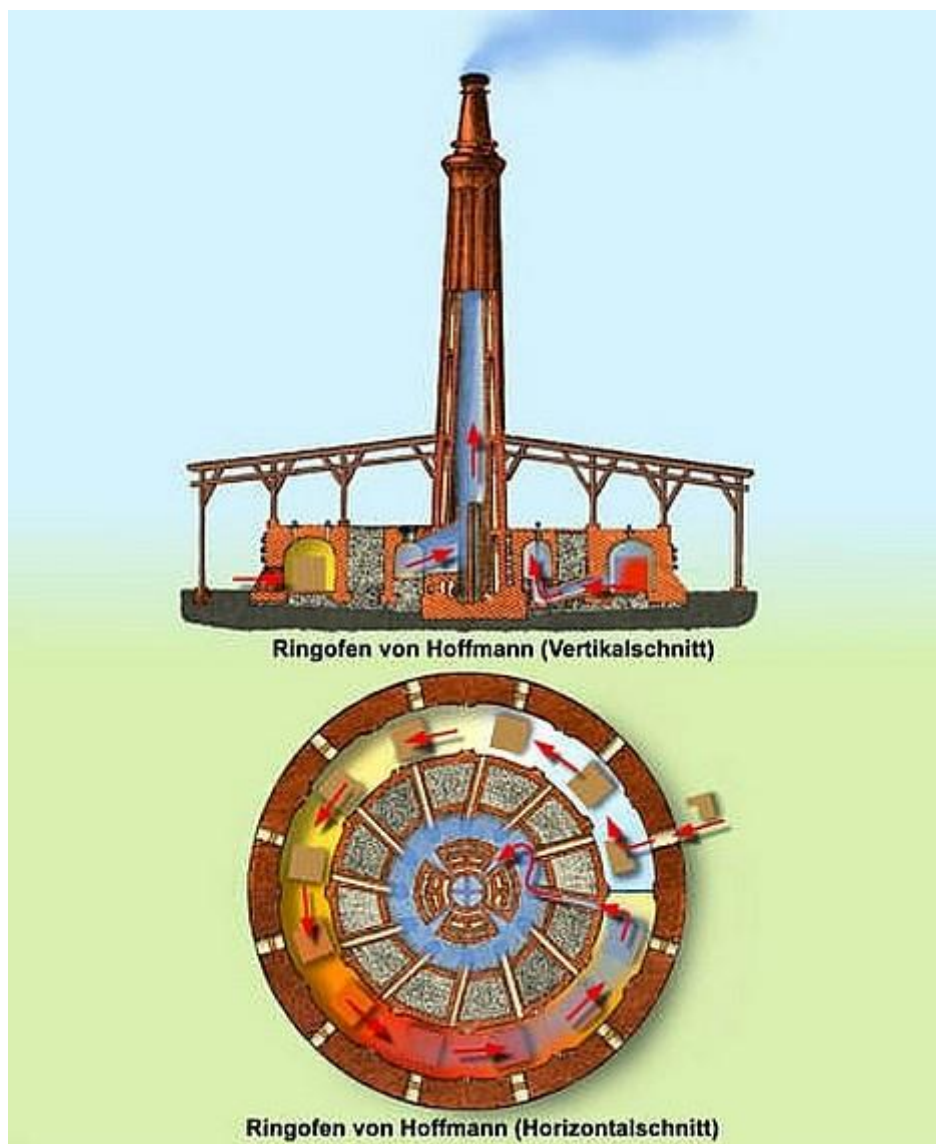
Měkké surové cihly se pak musely vysušit. Nechaly se několik týdnů nebo měsíců na dobře větraném a stíněném místě vysychat. Většinou se ukládaly nastojato, aby se ušetřilo místo v sušárně. Proces sušení je velmi důležitý, protože jílovitá složka hlíny může obsahovat tzv. jílové minerály ze skupiny kaolinitu, illitu a montmorillonitu. Tyto minerály přijímají do svých vrstevnatých struktur vodu a bobtnají. Cihlářská hlína pohlcuje vodu mechanicky i chemicky. Během sušení se z výrobků odstraňuje mechanicky vázaná voda a výrobek se smršťuje (2–10 %). Při sušení se musí voda odstraňovat rovnoměrně, protože v sušených cihlách vznikají vnitřní napětí, jejichž vlivem by mohly vzniknout trhliny a praskliny. Při pálení v teplotním intervalu 450 – 600 °C se uvolňuje chemicky vázaná voda a dochází k dalšímu smrštění (3–8 %). [7]



Obr. 4 Zavážení cihel do sušárny [41]

Když byly cihly vysušené, umístily se do pece. Pec mohla mít podle původu a velikosti cihelny různý tvar, ale vždy obsahovala průduchy k regulaci přístupu vzduchu, které se podle potřeby ucpávaly kamením nebo zadržovaly. Do pece se cihly vkládaly na zděné lavice nebo perforovanou podlahu, aby nebyly přímo vystaveny plamenům. Aby se rovnoměrně prohřívaly, tak mezi nimi byly vytvořeny mezery. Pak se v peci zapálil oheň, nejdříve bylo hoření tlumené, při kterém se z cihel odpařovala vlhkost a z pece vycházel mastný a zapáchající dým. Toto dosoušení cihel trvalo nepřetržitě většinou několik dní. Poté následoval proces pálení, otevřely se přívody vzduchu, teplota se několik dní postupně zvyšovala na 800 – 900 °C. [7]

V poslední fázi byl přívod vzduchu znovu uzavřen a probíhalo dopálení cihel. Po vychladnutí pece se cihly zkontrolovaly, popraskané a nedokonale vypálené kusy se vyřadily. Kvalitu cihel ovlivňovala zejména jejich vzdálenost od středu ohniště. Postupem času se ve větších cihelnách setkáváme s tzv. kontinuálním výpalem pomocí Hoffmannovy kruhové pece, kde už se však jedná o strojovou výrobu cihel bez ručních forem. Cihly z těchto cihelen byly dokonale tvarované a bez kolkování. [7]



Obr. 5 Schéma Hoffmannovy kruhové pece [42]

3.4. Technologie výroby dnes

V dnešní době je výroba cihel plně mechanizována a automatizována a probíhá v několika etapách. Etapy výroby zahrnují – těžbu, odležení a přípravu surovin, tvarování, sušení a výpal výrobků a jejich balení, skladování a expedici. [1] [9]

Cihlářská hlína se těží v blízkosti cihelny v tzv. hliništi. Většinou se těží rypadly (korečkovými, kolesovými nebo lopatovými), které současně mísí jednotlivé vrstvy zeminy. Natěžená zemina se pak naváží na haldu, kde několik měsíců zvětrává. Poté se surovina skladuje několik dnů až týdnů v hale. [1] [9]



Obr. 6 Těžba hlíny korečkovým rypadlem [43]

Po skladování v hale se korečkovým rypadlem odebírá na pás, kterým je dopravena do kolového mlýna na mokré mletí. Současně se zeminou se melou i přísady a přidává se k nim voda. Přísady upravují vlastnosti směsi při vytváření, sušení a pálení. Ostřiva snižují plastičnost, omezují možnost smrštění a vznik smršťovacích trhlin při sušení (písek, šamot, struska, popílek, atd.). Lehčiva snižují objemovou hmotnost vypáleného střepe a zlepšují tepelně izolační vlastnosti výrobku a taviva snižují teplotu slinutí a tání. [1] [9]

Způsob tvarování takto připravené směsi závisí na tvaru a velikosti výrobku, požadované hutnosti, pevnosti a požadavcích na přesné rozměry. Výroba probíhá nejčastěji ražením nebo tažením. Tažení je protlačování plastického těsta vhodně tvarovaným ústím šnekového lisu. Probíhá většinou jako polotuhé s vlhkostí těsta 20 – 25 % a tlaku 1,5 MPa. Může vznikat nežádoucí jev a tím je textura. [1] [9]

Tvarování je zakončeno odřezovačem, který určuje třetí rozměr výlisku, případně ozuby tažené krytiny a její zakončení. Ražení je tvarování těsta do formy požadovaného tvaru. Používá se k ražení krytiny na revolverových lisech, kde se plástve vytvarované na šnekovém lisu přetvářejí na tvar dvoudrážkových tašek. Lisy jsou plně automatizované. [1] [9]

Takto připravené výrobky se dále suší, aby se v nich snížil podíl vody. Suší se v komorových nebo kanálových sušárnách a sušení trvá 12 – 76 hodin. Během sušení dochází k smrštění výlisku o zhruba 4 – 6 %. Spotřeba tepla během sušení se pohybuje kolem 3200 – 3500 kJ na kg odpařené vody. Teplo se nejčastěji odebírá z chladnoucí tunelové pece, se kterou jsou tyto sušárny spojeny. Jelikož je umělé vysoušení cihel pro některé cihelny příliš nákladné a nevyplatí se, tak se u nás i nadále používá technologie sušení ve venkovních sušárnách stejně jako v minulosti. Cihly se zavezou do sušárny, kde se nechají po dobu 10 – 21 dní vyschnout prouděním vzduchu (tato doba je závislá na počasí). Po vysušení se cihly ukládají na pecní vozíky a zavážejí do pece na výpal. [1] [9]



Obr. 7 Komorová sušárna [44]

Cihly jsou ukládány s mezerami na vozíky, které se po kolejnici pohybují pecí, ve které se automatizovaně reguluje teplota výpalu. Z hlediska teploty je tunelová pec rozdělena na tři pásma, předehřívací, žárové a chladicí. Každé pásmo je pak rozděleno na několik sekcí s různou teplotou. Průběh výpalu v tunelové peci je dán rychlostí pohybu vozů s výsušky pecním kanálem a délkou úseků s předem nastavenými různými teplotami. [1] [9]

Cihly se v tunelových pecích zahřívají na vypalovací teplotu 930 – 1050 °C a spotřeba tepla je 1,3 – 1,8 MJ.kg⁻¹. Smrštění pálením bývá 1 %. Doba výpalu bývá kolem 20 – 30 h. Celý provoz pece je řízen počítači.[1] [9]



Obr. 8 Tunelová pec [45]

Většina cihelen u nás, ale ještě stále není plně modernizována, a tak používají staré, ale osvědčené metody, ke kterým patří výpal cihel v kruhových pecích. Všechny kruhové pece u nás mají však tvar oválný, který vznikl za účelem zvýšení kapacity výroby, resp. navýšení počtu komor. Přesto se ale stále nazývají kruhové, protože se název odvíjí od kontinuální (cyklické) technologie výroby. Kruhová pec bývá vždy řešena jako zaklenutá chodba o výšce běžně do cca 3 metrů a šířce do cca 4-5 metrů. Může být jednopatrová se zastřešeným půdním prostorem, nebo vícepatrová s umístěnou sušárnou přímo nad pecí. Pecní prostor je složen z několika komor, kterých by mělo být alespoň 14, ale dříve se běžně používalo jen 8 – 12 komor. Komorou se rozumí imaginární prostor v kruhové peci, ke kterému přísluší jeden vstupní (manipulační) otvor, a do kterého se navezou cihly pro jednu etapu výpalu. Cihly jsou do pece zaváženy po kolejnicích na vozíku a ukládány na lavice s mezerami pro umožnění rovnoměrného proudění žáru a vzduchu při výpalu. Vstup do komory se po zavážení uzavře a zardí. Na druhé straně pece dochází k výpalu, který dosahuje teplot až 1000 °C, při kterém dává palič pokyny dělníkům, kde a kolik paliva sypat přes sypáky (malé otvory ve stropu), aby oheň hořel. Potřebný vzduch k hoření se přivádí tahem komína, nebo moderněji pomocí ventilátoru, z otevřeného manipulačního otvoru komory, kde jsou již cihly vypáleny a vyvázejí se. Každá komora má svůj odtahový kanál, kterým se reguluje odtah spalin a vedou spaliny do centrálního kouřovodu a odtud přímo do komína. [10]

Venkovní vzduch tedy prochází přes komory, kde ochlazuje vypálené cihly. Pak přijde vzduch do komory s výpalem a horké spaliny pokračují ve směru tahu komína. Ty procházejí přes čerstvé cihly, které tím předehřívají. V poslední komoře, která je již zavezena a zazděna je otevřen odtah spalin. Po vypálení jedné komory a vyvezení protilehlé, se celý cyklus posune o jednu komoru. Celý proces se posunuje zpravidla rychlostí o jednu komoru za jeden den. [10]



Obr. 9 Kolejnicový vjezd do kruhové pece [46]



Obr. 10 Ukládání cihel v kruhové peci [47]

Poslední etapou je kontrola kvality vypálených a ochlazených výrobků (vizuálně nebo poklepem). Pokud výrobky tyto požadavky nespĺňují, tak jsou vyřazeny. Nejčastějšími vadami povrchu je tvorba cicvárů, nebo různé barvy střepe, které jsou způsobeny různými teplotami při výpalu. Cihly, které vyhověly požadavkům se zapáskují, paletují, balí a jsou připraveny k expedici. [9]

3.5. Tvary a rozměry cihlářského výrobku

V průběhu staletí se v Evropě měnily rozměry i vnější podoba cihlářských výrobků. Pokusy o jejich unifikaci jsou známy již od středověku. [13]

V rámci rakouské monarchie byl 6. září 1686 na základě rozhodnutí císaře Leopolda I. zhotoven první cejchovaný cihlový model s rozměry $11^{1/2} \times 5^{1/4} \times 2^{1/2}$ dolnorakouského palce (30,2 x 13,8 x 6,5 cm), 1 palec se rovnal 2,634 cm. Rozměry cihel se však během dalších let upravovaly. První předpis, který měl platit pro celou monarchii, byl vydán ve Vídni 31. března 1788. Podle tohoto předpisu měla mít cihla používaná ke zdění (zdice) rozměry 12 x 6 x 3 palce. [13] [14]

V Čechách byly na základě guberniálního nařízení z 11. července 1839 předepsány základní rozměry zdících cihel po výpalu na $11^{1/2} \times 5^{1/2} \times 2^{1/2}$ palce (30,2 x 14,4 x 6,5 cm). Na cihlu se musela zároveň razit značka výrobce (cihelny). [13] [14]

Na Moravě platil předpis Moravsko – slezského gubernia z roku 1810, podle kterého měly cihly, používané ke zdění rozměry $11^{1/2} \times 5^{3/4} \times 2^{3/4}$ palce (30,2 x 15,1 x 7,2 cm). Avšak od druhé poloviny 18. století do poloviny 19. století bylo v monarchii vydáno mnoho rozhodnutí o rozměrech cihel, které se ne vždy shodovaly. [13] [14]

Zcela unifikovaný formát byl stanoven až 14. 4. 1883 na základě metrologické reformy, kdy se upustilo od měření v palcích. Formát zdících cihel byl 29,0 x 14 x 6,5 cm, který je platný až dodnes. [13] [14]

V důsledku toho, že při výpalu dochází ke smrštění cihlářského střepe, který závisí na složení materiálu a podmínkách výroby, jsou v rozměrech cihel odchylky od předepsaných rozměrů. [13] [14]

Přehled rozměrů cihel				
Veškeré míry v dolnorakouských palcích (1 palec = 2,634 cm).				
Obyčejné cihly zv. Zdice (Mauerziegeln)	délka	šířka	výška	
Dolní Rakousy	1686	11 1/2	5 1/4	2 1/2
Dolní Rakousy	1715	11	5 1/4	2 2/3
Dolní Rakousy	1773,1798	11	5 1/4	2 1/2
Monarchie	1788	12	6	3
Morava	1810	11 1/2	5 3/4	2 3/4
Monarchie	1831	11	5 1/2	2 3/4
Čechy	1839	11 1/2	5 1/2	2 1/2

Obr. 11: Tabulka rozměrů cihel pro monarchii podle Martina Ebela [48]

Vyšetření stavu výroby různých cihlářských výrobků v Čechách dle krajů (hlášení z let 1837/1838)									
Cihly obyčejné - zdice									
	délka			šířka			výška		
	min.	průměr	max.	min.	průměr	max.	min.	průměr	max.
Praha		11 1/2			5 1/2			2 1/3	
Berounsko	míry neudány								
Boleslavsko	10	11 1/2	12	4	5 1/2	5 1/2	2	2 1/2	2 3/4
Budějovicko	údaje nedochovány								
Bydžovsko		11 1/2			5 1/2			2 1/2	
Čáslavsko		11 1/2			5 1/2			2 1/3	
Hradecko	zpráva chybí								
Chrudimsko	10	11 1/3	11 1/2	5	5 1/2	5 3/4	2 1/8	2 1/2	2 3/4
Klatovsko	10 1/2	11 1/2	12	5	5 1/2	6	2	2 1/3 2 1/2	2 1/2
Kouřimsko	míry neudány								
Litoměřicko		11			5 g ^[10]			2 3/4	
Loketsko		11 1/2			5 1/2			2 1/3	
Plzeňsko		11 1/2			5 1/2			2 1/2	
Prácheňsko ^[11]		11 1/2			5 1/2			2 1/2	
Rakovnicko ^[12]	9		13	4 1/2		6	1 3/4		3
Táborsko	míry neudány								
Žatecko		11 1/2			5 1/2			2 1/3	
¹⁰ Litoměřická specialita na různé tloušťky zdi (po 3 palcích)									
¹¹ Nejednotné míry, uvedené používány nejčastěji na výpočty									
¹² Pouze panství Pátek mělo neobvyklý rozměr 12 x 6 x 3. V Rostokách byly neobvyklé cihly 14 x 6 x 2 1/2									

Obr. 12: Tabulka rozměrů cihel v Čechách a na Moravě podle Martina Ebela [49]

3.6. Značení cihel

Značky na cihlách byly známy už z doby římského impéria a dalších starověkých států. Během středověku dochází k útlumu a další vývoj cihlářství a značek (kolků) se datuje do 17. století. Prvotní kolky by se podle některých historiků mohly považovat za označení kvality cihel dané cihelny nebo označení privilegia městské nebo vojenské cihelny. Postupně začaly své cihly značit i panské a královské cihelny za účelem mocenské propagandy daného šlechtického rodu. Od 19. století začaly značky sloužit hlavně jako levná reklama v tržním mechanismu. Dalo by se taky připustit, že by prvotním významem značek byla evidence roční bilance cihelny. [7]

Na značkách se nejčastěji objevují různé kombinace písmen nebo číslic. Číslice mohou někdy označovat letopočet, jindy výrobní fázi souboru cihel. Písmena mohou být iniciálami majitele cihelny, mohou označovat lokalitu cihelny nebo dělníka, který dané cihly zpracoval. Šlechtické cihelny často používaly pro označení různé znaky nebo erby. [7]

Rozlišují se dva základní druhy značek – pozitivní a negativní. Pozitivní značky vznikají tak, že se na dno cihlářské formy (matrice) vyryje daný znak v zrcadlově obrácené podobě. Po vyklopení surové cihly z formy se značka objeví na čelní stěně cihly (jako by z cihly „vystupovala“). Při tvorbě negativní značky se na dno formy umístí kovové lišty s nasazenými kovovými štočky se znaky dané značky. V tomto případě se po vyklopení cihly objeví značka, která jakoby „vstupovala“ do cihly. Negativní značka se dala do surové cihly otisknout také dodatečně. Z historického hlediska jsou pozitivní značky vývojově starší než značky negativní. [7]

Mezi sběratelské rarity patří otištěné stopy lidí, zvířat nebo rostlin. Na cihlách se našly otisky prstů i celých rukou cihlářských dělníků nebo jejich dětí. Vzácnější jsou zachované stopy zvířat, která přeběhla přes ještě měkké cihly při sušení, nebo otisky listů podobné fosiliím, které jsou známé ze sedimentárních hornin. [7]



Obr. 13: Značka výrobce Heinricha von Drasche [50]

3.7. Cihlářské výrobky

Zaujímají první místo v objemu výroby stavební keramiky. Cihlářské výrobky se dělí na zdící prvky, krytiny pro šikmé střechy, prvky pro horizontální konstrukce a výrobky pro zvláštní účely. Jejich hlavním rysem je vysoká nasákavost, ta bývá obvykle nad 12 %, pevnost v tlaku od 3 do 60 MPa a objemová hmotnost, která se pohybuje od 800 do 2000 kg.m⁻³. Vytvářejí se zásadně z plastického těsta s obsahem vlhkosti až 25 % a vypalují většinou při teplotách v rozmezí 930 až 1050 °C. Velkým plusem je, že jsou tyto výrobky přijatelné pro životní prostředí, během výroby je možno použít řadu průmyslových odpadů a po dožití je můžeme recyklovat k dalšímu použití. [1]

Pálené cihlářské prvky pro vodorovné konstrukce jsou cihelné stropní desky, například trámce HURDIS, stropní desky pro skládané stropy, typickým zástupcem je typ MIAKO, prvky pro prefabrikované keramické překlady a nosníky. Keramické dílce pro stropy se vyrábějí pouze omezeně a skládají se z prvků např. ARMO. Tvarovky jsou duté a tenkostěnné, v omezené míře spolupůsobící s betonem a proto je jejich požadovaná pevnost v tlaku minimálně 12 až 33 MPa. Stropní vložky musí mít únosnost minimální hodnoty 4 až 6 kN a někdy je požadovaná i mrazuvzdornost. Desky jsou lehké, hmotnost se pohybuje od 10 – 20 kg. Jsou vyráběny s kolmými nebo šikmými čely spolu s patkami. [1] [11]

Střešní krytina se používá k pokrývání dřevěných konstrukcí střech. Používá se pro střechy se sklonem od 22 ° do 40 °. Je vyráběna tažením na vakuovém šneku, většinou se jedná o tzv. bobrovky, které mají různá zakončení, nebo ražením, výsledná krytina má dvě drážky podélné i příčné. Vyrábí se v několika tvarových variantách a hmotnost se pohybuje kolem 2,7 – 3,7 kg. Krytiny mají velkou výhodu a tou je rychlá montáž a snadná opravitelnost. Musí být odolné vůči účinkům mrazu, s předepsanou průměrnou neprosákavostí a nesmí obsahovat škodlivé cicváry. Požadovaná minimální únosnost je pro bobrovky 500 N a pro ražené tašky bývá kolem 500 - 1500 N. [1] [11]

Cihlářské výrobky pro zvláštní účely se vyrábějí pouze v malém rozsahu a jedná se zejména o trativodky, komínovky, které se používají pro zdění komínů kruhových průřezů, a obkladové prvky. [1]

3.8. Cihlářské výrobky pro zdění

Dělíme podle umístění v konstrukci na obvodové zdivo, nosné zdivo, nenosné (výplňové) zdivo a režné zdivo. [1]

Tvárnice pro obvodové zdivo jsou děrované v 51 % plochy a často bývají zazubeny ve svislých spárách. Pevnost v tlaku se pohybuje od 8-10 MPa a objemová hmotnost tvarovek bývá 800 – 900 kg.m⁻³. Důležitým prvkem je způsob děrování, otvory by měly být úzké, dlouhé a orientované kolmo k tepelnému toku. S počtem řad otvorů kolmých k tepelnému toku roste jeho tepelný odpor. [1]

Tvárnice pro nosné zdivo mají objemovou hmotnost 850 – 1450 kg.m⁻³, jsou děrované a jejich pevnosti v tlaku se pohybují od 10 do 25 MPa. Uplatňují se také cihly voštinové v rozměrech 300x150x75 mm, nebo v jejich násobcích. [1]

Duté tvárnice pro příčky, ploty a výplňové zdivo mají objemovou hmotnost kolem 1000 kg.m⁻³, pevnost v tlaku 8 – 10 MPa a jsou děrované ze 45 %. Používají se pro příčky tloušťky 65 a 115 mm bez omítek. [1]

Cihlářské výrobky pro režné zdivo jsou plné (s otvory maximálně do 15 %) a příčně děrované (vylehčení 25 až 50 %) cihly. Jejich pevnost v tlaku bývá 10 – 40 MPa a pro cihly v exteriéru je důležitá mrazuvzdornost, která musí být minimálně 25 zmrazovacích cyklů. Nežádoucím prvkem je vznik cicvárů a výkvětovost, které snižují kvalitu vzhledu cihel. Nejosvědčenějším zástupcem režného zdiva je cihla klinker, která je díky zvuku, který při poklepání vydává také nazývána „zvonivkou“. Vyznačuje se pravidelností povrchu a třemi pohledovými stranami, čtvrtá strana je technologická. Vyrábí se se zkosenými hranami a zaoblenými rohy pro osazení římsy. Mrazuvzdornost musí mít minimálně 50 zmrazovacích cyklů. Jejich nasákavost bývá 6 – 8 %, pevnost v tlaku nad 60 MPa, v tahu ohybem více než 6 MPa a objemovou hmotnost mají 1800 – 2200 kg.m⁻³. [1] [11] [12]

V České republice se používaly tyto typy zdících prvků

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

[2]

3.9. Cihla plná a její legislativní požadavky

Cihla plná je prakticky stejný výrobek jako před 6 000 lety. Základem je stále kvalitní vstupní surovina – cihlářská hlína. V současnosti je její kvalita zajišťována automatizovaným, průběžně kontrolovaným výrobním procesem, kdy odchylky od požadovaných vlastností jsou jen v úzkých tolerancích, na které dohlíží důsledný systém kontroly výroby. Cihly plné pálené jsou vyráběny ve formátu 290 x 140 x 65 mm. V současné době se ale cihla plná pálená už tolik nepoužívá a je postupně nahrazována modernějšími zdíciemi prvky, například cihelnou tvarovkou typu THERM. [2]

S rostoucím rozmachem cihlářství a rozvojem společnosti bylo nutno stanovit požadavky na cihly plné a stanovit jednotný systém vyráběných prvků. Prvními požadavky byly požadavky na rozměry. V roce 1686 Leopold I. stanovil formát cihel na 11,5 x 5,25 x 2,75 palců, který se postupně měnil až do roku 1883, kdy se výrobci shodli na formátu cihel 29 x 14 x 6,5 cm a tento formát se používá až do dnes. [13] [14]

Cihly se vyráběly z různých surovin a při různých technologických postupech, takže měly různé vlastnosti a mnohdy nedosahovaly příliš dobré kvality. Bylo tedy nutné stanovit univerzální požadavky, které by nám zajistily dosažení určitých vlastností výrobků. Jedná se hlavně o pevnost v tlaku a ohybu, nasákavost, mrazuvzdornost a objemovou hmotnost. [1]

Nejstarší norma u nás byla ČSN 72 2610, která se postupně modernizovala až do roku 1989, kdy vyšla poslední modernizace a ta byla platná do roku 2006 než byla nahrazena. Stanovovala průměrnou pevnost v tlaku cihel na 6 – 25 MPa a průměrnou pevnost v ohybu na 1,0 – 3,2 MPa. Cihly mohly být vylehčené otvory až do 15 % průřezu. Objemová hmotnost byla 1600 – 1900 kg.m⁻³ a nasákavost minimálně 10 %. Cihly s pevností P6 – P8 nemusely být mrazuvzdorné, P 10 – 20 také nemusely být mrazuvzdorné a nebo mrazuvzdorné po dobu až 10ti zmrazovacích cyklů, avšak P25 musely vykazovat mrazuvzdornost M25. Cihly mohly obsahovat trhlinky, pokud nesnižovaly pevnost. [1]

V roce 2006 byla zavedena univerzální evropská norma EN 771-1, která nahradila všechny platné české normy na pálené zdící prvky a spojila je do jednotné formy. Rozlišovala dvě skupiny pálených zdících prvků LD a HD. [2]

Do skupiny prvků LD patřily zdící prvky s objemovou hmotností v suchém stavu nejvýše 1000 kg.m⁻³ určené pro použití v chráněném zdivu. Prvky HD zahrnovaly všechny pálené zdící prvky určené pro použití v nechráněném zdivu a pálené zdící prvky s objemovou hmotností v suchém stavu nad 1000 kg.m⁻³ určené pro použití v chráněném zdivu. Mrazuvzdornost musela být deklarovaná jen tehdy, pokud cihly nebyly plně chráněny před pronikáním vody, stejně tak nasákavost závisela na použití. Tepelně technické požadavky se uváděly tehdy, pokud byly vyžadovány a uváděly se s odkazem na EN 1745. Pevnost v tlaku byla stanovena na P2 – P40, pevnost v ohybu norma neuváděla. Spolu se zkouškou pevnosti v tlaku se zjišťovala škodlivost cicvárů, kdy se prvky zkoušely kondicionované pod vodou a jejich pevnost neměla být více než o 15 % menší než průměrná pevnost. [2]

Tato norma však byla modernizovaná a v současné době platí ČSN EN 771-1 +A1 Specifikace zdících prvků – Část 1: Pálené zdící prvky. Norma nadále nerozděluje zdící prvky na LD a HD, ale na P a U. Skupina P jsou zdící prvky pro použití v chráněném zdivu a pálené prvky skupiny U se používají pro nechráněné (neomítané) zdivo. Norma stanovuje požadavky na rozměry a vzhled, mrazuvzdornost, výkvětovitost, obsah cicvárů, mineralogické složení, délkové teplotní roztažnosti, pevnost atd. Rozměry deklarované jsou pro cihlu plnou CP 290 x 140 x 65 mm s povolenou tolerancí pro výrobce T1 ($\pm 0,40 \cdot \sqrt{\text{výrobní rozměr}}$ v mm nebo 3 mm – uvažuje se větší hodnota). Požadavky na vzhled cihel rozdělují cihly do tříd podle různých barev, které vznikají při výpalu. Mezní hodnoty obsahu solí (výkvětovitost) se dělí do kategorií S0 – S2 (viz tab.1). Požadavky na mrazuvzdornost jsou závislé na použití zdícího prvku (viz tab. 2) a stanovují se na 15 – 25 (F0 a F1) nebo 50 (F2) zmrazovacích cyklů. [15]

Kategorie	Mezní hodnoty hmotností v %	
	Na ⁺ + K ⁺	Mg ²⁺
S0	nepožaduje se	nepožaduje se
S1	0,17	0,08
S2	0,06	0,03

Tab. 1 Kategorie obsahu aktivních rozpustných solí [15]

Kategorie	Prostředí	Použití
F0	neagresivní	zdivo vnějších stěn opatřených vhodnou ochranou
F1	mírně agresivní	zdivo chráněné parapetní deskou s okapnicí, ochrana hlav stěn přesahem stěny nebo krycími deskami
F2	silně agresivní	neomítané zdivo komínů, neomítané zdivo nadezdívek

Tab. 2 Kategorie mrazuvzdornosti pálených prvků [15]

3.10. Vady cihlářských výrobků

Každý sériově vyráběný výrobek má stanovené specifické vlastnosti, které musí splňovat. Ovlivňují to dlouhodobé zkušenosti nebo vědecké poznatky. Vady cihlářských výrobků může způsobit použití nevhodné suroviny (asi 22 %), nevyhovující technologické postupy (56 %) a špatné uskladnění výrobků (8 %). Zbývající procenta připadají na ostatní vlivy (např. doprava, nedostatečná odborná kvalifikace atd.) [16] [17]

Nejrozšířenější škodlivinou v cihlářských surovinách je vápenec ve formě cicváru (čím větší je podíl vápence CaCO₃, tím je cicvár škodlivější). [16] [17]



Obr. 14 Cihly napadené texturou [51]

Nevhodný technologický postup může ovlivňovat nedostatečná nebo nevhodná úprava surovin, nevyhovující technologické zařízení, nízká technologická kázeň a nedostatečná kontrola výroby. [16] [17]

Vady, které vznikají nesprávným uskladněním mohou být způsobeny mechanickým poškozením či vznikem druhotných výkvětů. Příčinou mechanického poškození je nedostačující kvalita skladištní plochy. Plochy jsou často nerovné, nedostatečně odvodněné, případně rozměrově nevyhovující. Druhotné výkvěty vznikají tam, kde se na úpravu skladových ploch používají hmoty, které obsahují rozpustné výkvětovorné soli, ty pak díky vlhkosti vzlínají do výrobků a na jejich povrchu krystalizují (vykvétají). Jedná se o bělavé, nažloutlé či nazelenalé skvrny. Mezi výkvětovorné soli patří zejména alkalické sírany, případně i sloučeniny železa, manganu a vanadu. Výkvěty mohou vznikat i z chloridu sodného, který se přidává do malty proti mrznutí. I malý obsah těchto solí vyvolává vznik výkvětů. Např. $MgSO_4$ vykvétá při obsahu 0,2 %, $CaSO_4$ při 0,7 % a CaO při 0,6 %. Vliv na kvalitu výrobků může mít i mnohdy nedostatečná kvalifikace pracovníků. [16] [17]

Mezi vady vznikající při tažení a ražení výrobku patří vnější a vnitřní vady. Mezi vnější vady patří 1. deformace výrobků. Patří sem nerovnosti povrchu a hran cihel a tvárnic, způsobené zejména vlnitým pohybem pásma vycházejícího z lisu, který způsobuje měkká pracovní směs nebo nalepení směsi na válečky nebo pásy odřezávače. 2. dračí zuby na povrchu a hranách cihel. Nejčastější příčinou je nestejný postup pracovní směsi ústím pásmového lisu. 3. trhliny na povrchu výlisků. Bývají nejčastěji na hranách jako nedokonalá forma dračích zubů, způsobená nestejnou rovinností výrobní směsi. 4. Drsný a hrbolátý povrch výlisků. [16] [17]

Hlavní vliv na drsnost povrchu tažených cihel mají hrubá opracování lisovacích ploch ústí, jejich opotřebení, nečistoty v ústí a suché součásti suroviny. 5. Vzduchové a vodní bubliny na povrchu cihel, které vznikají nejčastěji vtačováním vzduchu do suroviny šnekem a nepravidelným plněním lisu. 6. Nedokonale vylisované tvary např. důlky v povrchu cihel a nedolisované hrany. Důlky se častěji projeví až při sušení. Způsobují je hrubší součásti v surovině např. kousky tvrdých slínů, které jsou průchodem ústí zbrzděny, směs se tím mírně zředí a vytvoří se důlek. 7. Odchyly v rozměrech a hmotnosti cihel. Bývají způsobeny nesprávným výpočtem smrštění suroviny, rozdíly v jejím složení. [16] [17]

Vnitřní vady jsou charakterizovány vznikem různých typů struktur (např. tvaru S, oválové, vrstevnaté atd.) Tyto vady nejčastěji vznikají v průběhu lisování. Další vady mohou vznikat při odřezávání, odebírání a dopravě výlisků k sušení. Následně i během sušení vznikají vady nejčastěji v podobě trhlin, popřípadě křivostí a kroucení. I přesoušení, výpal, třídění a doprava výrobků do pecí a z pecí sebou nese riziko vzniku dalších vad. Mezi důležité vlastnosti výrobků patří i jejich barva po výpalu. Stejněměrné zbarvení ovlivňuje zejména složení suroviny a příměsí (vápenec, sádrovec apod.) Barvu ovlivňuje i způsob skládky a různý stupeň vypálení. Zároveň i různá atmosféra při pálení (tj. redukční oheň) způsobuje očištění výrobku, které zhoršuje jejich vzhled. Čím je obsah železité sloučeniny v surovině vyšší, tím je barva střepu po výpalu sytější červená až hnědočervená. Naopak s větším obsahem uhličitanu vápenatého je barva světlejší, přechází do růžové, žlutavé až šedobílé. Intenzitu a odstín barvy ovlivňuje i vypalovací teplota. S rostoucí teplotou přechází barva železitých střepů do fialových odstínů a až stříbřitého lesku. Na vápenatých surovinách se objevují žluté skvrny. Vzniku vad se nevyhne ani uskladnění, doprava ze závodu i použití. [16] [17]



Obr. 15 Barevné rozdíly cihly [52]

4. Cihelny v ČR a na Slovensku

Zhruba do poloviny 19. století fungovaly zpravidla jen „pánské“ cihelny, protože na výrobu cihel musel mít výrobce koncesi, kterou nebylo snadné získat. Pánské cihelny měly dobrou technologii výroby, byly většinou mechanizované a vyráběly velmi kvalitní cihly. Až po vydání nového obecního zřízení se mohlo cihlářství stát volnou živností. Protože cihly mohl vyrábět kdokoli, byly mezi výrobci velké rozdíly v jejich vybavení, technologii i kvalitě cihlářských výrobků. [7]

Nejjednodušší cihelny vznikaly tak, že majitel pozemku pronajal danou lokalitu cihláři, který s několika pomocníky postavil dřevěné přístřešky na sušení. Postavil jednoduchou pec, nakopal vhodnou hlínu, připravil formu a zahájil výrobu cihel. Většinou se vyráběly cihly, které se využívaly na stavby v dané lokalitě. Jednalo se prakticky o kusovou výrobu a většina cihel neměla značky. Když na nich byla značka, obsahovala zpravidla iniciály majitele. Kvalita těchto cihel nebyla moc dobrá, dnes se tyto cihly rozpadají, někdy jsou „přepálené“ do fialova nebo tvarově deformované. Tyto cihly používali zejména méně majetní občané, kteří se nedívali na vzhled či dokonalé vypálení cihel, protože cihly byly lepší, než tehdy často používané cihly z nepálené hlíny s příměsí slámy nebo plev. [7]

Kvůli hojné výstavbě cihelen jich bylo na našem území až stovky, skoro každá větší vesnice měla svoji vlastní. Mnoho cihelen již neexistuje a mnoho jich zůstalo opuštěných a chátrá. V provozu zůstalo jen malé procento z původního počtu cihelen. [7]

4.1. Cihelna Šitbořice

Cihelna se nachází na kraji obce Šitbořice 25 kilometrů jihovýchodně od Brna, v okrese Břeclav. Cihelna se specializuje na výrobu plných cihel pálených velkého formátu, které se uplatňují hlavně při výstavbě nosných zdí u vinných sklípků. Dalšími produkty cihelny jsou na zakázku vyráběné cihelné dlaždice [18]

Kvůli vysoké odolnosti cihel vůči klimatickým vlivům a erozi jsou šitbořické cihly předurčeny k použití při stavbě nosných neomítaných zdí běžných budov. Rozměry vypálené cihly jsou 290 x 140 x 65 mm a váží 4,1 kg. Pevnost v tlaku je 24 MPa, nasákavost 15 % a objemová hmotnost 1600 kg.m⁻³. Tepelný odpor zdiva je 0,73 m².K.W⁻¹ a součinitel prostupu tepla je při tloušťce 140 mm 2,87 W.m⁻².K⁻¹. [18]

Hlavní dominantou cihelny v Šitbořicích je výroba lícových cihel typu klinker, tzv zvonivek, kterým dlouhodobě nevadí vlhkost ani drsné klimatické podmínky a mají vynikající mrazuvzdornost. Na obrázcích 11 a 12 je patrná rozdílná barva, která je způsobena jinou teplotou výpalu. [18]



Obr. 16 a 17 Cihla plná pálená, tzv. zvonivka [53]

4.2. Cihelna Polom

Cihelna se nachází na kraji města Polom v Olomouckém kraji. Do sortimentu výroby patří cihla plná, lícová odlehčená, voštinová a dutinová, dále pak drenážní trubky a ruční cihelná dlažba. [19]

Cihla plná CP je vhodná pro klasické zdění i vyplňování omítaného zdiva o tloušťce zdi 290, 140 a 65 mm. Dále se používá pro obvodové zdivo v kombinaci s tepelnou izolací, čímž je docílena vynikající akumulární schopnost stavby a je zajištěna celková tepelná pohoda ve stavbě. Rozměry jsou 290 x 140 x 65 mm, pevnost v tlaku 15 – 20 MPa a průměrná hmotnost 4,1 kg. [19]



Obr. 18 Cihla plná [54]

4.3. Cihelna Miskolezy, Česká Skalice

Nachází se v blízkosti České Skalice v katastru Velkého Třebešova. Cihelna Miskolezy vyrábí tradiční zdící prvky. [20]

Cihla plná CP o rozměrech 290 x 140 x 65 mm, objemovou hmotností 1550 kg.m⁻³ a orientační hmotností 4,2 kg. Cihla CP se vyrábí s garantovanými pevnostmi v tlaku P 10, P 15 a P 20 MPa. Cihelna také vyrábí cihlu plnou v alternativním polském formátu CP-pf s rozměry 250 x 120 x 65 mm, objemovou hmotností 1640 kg.m⁻³ a hmotností orientačně 3,2 kg. Pevnost v tlaku je P 10, P 15 a P 20. [20]

4.4. Cihelna Bratronice

Nachází se v okrese Kladno ve Středočeském kraji, asi 30 km západně od Prahy. Cihelna se specializuje na výrobu plné pálené cihly a ruční cihelné dlažby. [21]

Cihla plná pálená vyráběná se standardními rozměry 290 x 140 x 65 mm a pevností v tlaku P 20 MPa. Dále vyrábějí i cihlu plnou s prolisem o rozměrech 290 x 140 x 65 mm a pevností v tlaku P 20. [21]

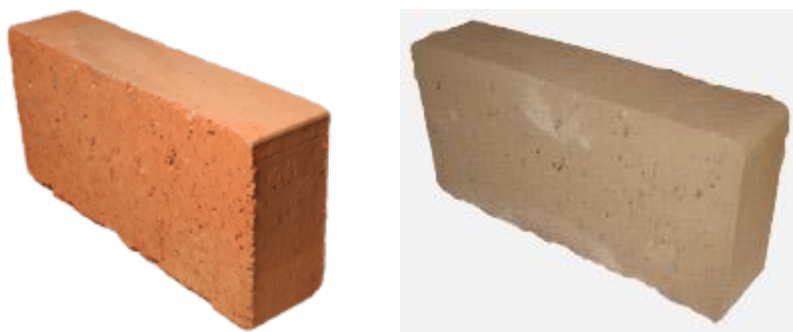


Obr. 19 a 20 Cihla plná pálená a cihla plná pálená s prolisem [55]

4.5. Cihelna Vysoké Mýto

Nachází se v Pardubickém kraji v okrese Ústí nad Orlicí. Vyrábí pálené cihly menšího formátu a doplňkové výrobky. Vyrábí pálené cihly menšího formátu a velké množství cihelných dlažeb a obkladů. [22]

Cihla plná pálená CP s rozměry 290 x 140 x 65 mm, pevností P15, P20 a hmotností 3,9 kg. Cihly jsou určeny pro výstavbu obvodového i vnitřního nosného chráněného zdiva. Cihla plná CP – nepálená, rozměr 290 x 140 x 65 mm a hmotnost 4,8 kg, pevnost v tlaku se neuvádí. Je určena pro výstavbu nenosného chráněného zdiva. [22]

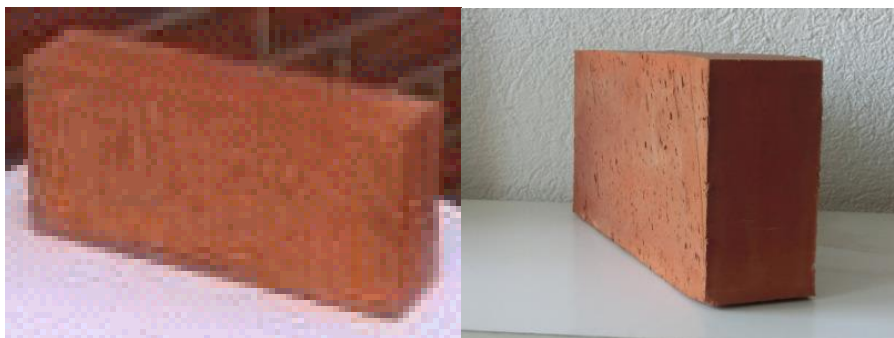


Obr. 21 a 22 Cihla plná pálená a cihla plná nepálená [56]

4.6. Cihelna Zlín, Malenovice a Holešov, Žopy

Cihelna Zlín, Malenovice byla uvedena do provozu v roce 1939 a byla majetkem firmy Baťa a.s. Vyráběly se zde cihly plné, duté jednocihly i dvojcihly a všechny druhy trativodek. Z plných cihel se stavěly klasické baťovské stavby z režného zdiva. V současné době vyrábějí cihly dutinové, lehčené, odlehčené a plné. [23]

Mezi jejich výrobky patří cihla plná s rozměry 290 x 140 x 65 mm, objemové hmotnosti $1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a s pevností v tlaku 20 MPa. Cihla plná lehčená o rozměrech 290 x 140 x 65 mm, objemové hmotnosti $1500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a pevnost v tlaku 10 – 15 MPa. Cihla rakouská CP mf plná, jejíž rozměry jsou 250 x 120 x 65 mm, objemová hmotnost $1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a pevnost v tlaku 20 MPa. Jejich specialitou je výroba fortifikační cihly tzv. šancovky, která má rozměry 320 x 160 x 80 mm. Je to mrazuvzdorná cihla, která se používá na opravy historických památek. [23]



Obr. 23 a 24 Cihla plná pálená a cihla plná pálená šancovka [57]

4.7. Cihelna Praha, Štěrboholy

Tato cihelna se specializuje na výrobu nejpevnější plné cihly v ČR. Sortiment dále zahrnuje cihly pro opěrné zdi, hradební zdi, vinné sklípky, stájovou dlažbu odolnou proti kyselinám, šancové cihly, historické cihly, atypické formáty a mrazuvzdorné cihly. [24]

Cihla plná, rozměry 290 x 140 x 50 mm, hmotnost 5 kg, pevnost 40 MPa. Cihla plná CP, rozměry 290 x 140 x 65 mm, hmotnost 5 kg, objemová hmotnost $1\,900\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, pevnost 40 MPa. Cihla plná NF, rozměry 290 x 115 x 71 mm, hmotnost 3,5 kg, pevnost 40 MPa. [24]



Obr. 25,26 a 27 Cihla plná pálená, plná CP a plná NF [58]

4.8. Pezinská cihelna

Pezinok je okresní město ležící na jihozápadě Slovenska, 18 kilometrů od Bratislavy na úpatí Malých Karpat. Cihelna nabízí kompletní sortiment cihlářských výrobků Pálené zdící materiály pro obvodové zdivo např. TermoBRIK, pálené zdící materiály na příčky, akustické zdivo např. TermoBRIK AKUSTIK aj. Kromě toho vyrábí i keramické nosníky, stropní vložky a překlady. [25]

Cihla plná pálená PT s rozměry 290 x 140 x 65 mm, hmotností 4,1 kg a objemovou hmotností $1600\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pevnost v tlaku cihly plné pálené P 20 MPa. [25]

4.9. Myjavská cihelna

Město Myjava se nachází v západní části Trenčínského kraje, 50 kilometrů od Trenčína. Od roku 1999 je součástí firmy TOVA spol. s.r.o. Vyrábí hlavně pálené cihly a pórobloky s velkou pevností a výbornými tepelnými vlastnostmi. [26]

Cihla pálená, rozměry 290 x 140 x 65 mm, hmotnost 4 kg, objemová hmotnost 1750 kg.m⁻³. Pevnost v tlaku P 20 MPa tepelný odpor R = 0,81 m².K.W⁻¹ a součinitel prostupu tepla 1,23 W.m⁻².K⁻¹. [26]



Obr. 28 Cihla plná pálená [59]

4.10. Ipelská cihelna

Nachází se mezi obcí Vidiná a částí města Lučence. Lučenec je okresní město v Banskobystrickém kraji. Mezi jejich sortiment patří cihla plná – ANTIK s rozměry 250 x 120 x 55 mm a hmotností 2,48 kg. Dále vyrábí pálené zdící cihly BRITTERM pro obvodové zdi, nosné příčky, dělicí příčky, akustické cihly a cihly malých rozměrů. [27]



Obr. 29 Cihla plná – ANTIK [60]

II. PRATICKÁ ČÁST

5. Cíl práce

Cílem práce je v první řadě návrh komplexní metodiky pro posouzení kvality současných plných pálených cihel. Tyto cihly jsou používány zejména pro rekonstrukce historických staveb a musí tedy splňovat mnohdy velké množství specifických požadavků. Téměř všechny plné pálené cihly jsou u nás vyráběny v takřka historických cihelnách s výpalem v kruhových pecích, které neposkytují jednotnou teplotu výpalu. Z toho důvodu je důležité, aby se laboratorně odhalil potenciál surovinové základny těchto cihel a našlo jednoznačné kritérium pro jednoduché třídění vyrobených cihel pro specifické požadavky jejich umístění. Pro kontrolu navržené metodiky se vybraly dvě moravské cihelny, které vyrábějí i cihly lícové, jenž jsou pro rekonstrukce historických budov stěžejní a zejména velmi často zdrojem reklamace.

6. Metodika zkoušení lícových cihel

Aby se jednalo o cihlu lícovou musí mít cihla určité vlastnosti, které se zjišťují pomocí příslušných normových zkoušek. Tyto zkoušky se mohou provádět jak na cihlách starých, umístěných v objektu, tak na nových vyrobených v cihelně.

Nejprve se provedou zkoušky na starých cihlách umístěných v objektu, který chceme rekonstruovat, abychom zjistili jejich vlastnosti. Výsledné hodnoty poté porovnáme s vlastnostmi cihel na trhu. Je také důležité znát jaké možnosti konkrétní výrobce má, hlavně z hlediska posouzení požadovaných parametrů jako je vzhled, pórovitost, mrazuvzdornost v závislosti na teplotě výpalu.

Postup jejich zkoušení je následovný. Nejprve se provede odběr vzorku lícových cihel, které mají být analyzovány. Vzorek by měl mít shodné vlastnosti s ostatními cihlami. Po odběru vzorku dochází k jeho úpravě, kdy se vzorek nařeže na menší díly, které se stávají laboratorními vzorky. Odběr vzorku a jeho další zmenšování a uskladňování by nemělo ovlivnit žádnou z jeho vlastností. Po vzorkování se vzorky vysuší v laboratorní sušárně na konstantní hmotnost. Poté se provede laboratorní výpal při požadované teplotě, nárůst teploty v peci je 2 ° C/min a při dosažení požadované a udržované teploty se provede výpal trvajícím 120 minut. Následně se zjišťují požadované vlastnosti vzorku.

6.1. Stanovení vzhledu a barvy

Zjišťuje se vizuálně podle normy ČSN 72 2602 Skúšanie tehliarskych výrobkov, Zisťovanie vzhľadu a rozmerov. Jedná se o barvu, tvar, začouzení, trhlinky, množství zlomků, poškození ploch, hran a rohů.

Během výpalu může vznikat různá barva střepu způsobená odlišnými teplotami výpalu. Barva se posuzuje vizuálně a poté se cihly zařadí do tříd. [28]



Obr. 30 Barva střepu dle teploty výpalu [61]

Začouzení se zjišťuje vizuálně ve vzdálenosti 2 m od vzorku při denním rozptýleném světle. Na vzorcích nesmí být z této vzdálenosti viditelné náznaky začouzení. Pokud jsou na vzorcích patrné stopy začouzení, tak se tato místa otřou bílým papírem a pokud na něm zůstanou viditelné stopy sazí a dýmu, tak se vzorek hodnotí jako začouzený. [28]

Kolmost hran se měří pomocí úhloměru nebo úhelníku a měrného klínu. Odchyłka od kolmosti při použití úhloměru se udává v úhlových stupních a minutách zaokrouhlených na 10 °. Rovinnost hran se zjišťuje přikládáním hrany pravítka na měřenou hranu. Zakřivení se zjišťuje na každé hraně. [28]

Zakřivení se určuje na každé ploše dvakrát ve směru úhlopříček. Prohnutí (konkávní zakřivení) se na ploše zjišťuje přiložením hrany rovného kovového pravítka ve směru úhlopříčky. Měrný klínem se poté odměří největší vzdálenosti mezi povrchem vzorku a pravítkem. Vyklenutí (konvexní zakřivení) ploch se měří ve směru úhlopříček. Kovové pravítko se položí hranou na vrchol vyklenutí a podkládá se z obou stran měrnými klíny takovým způsobem, aby vzdálenost plochy od hrany byla v obou rozích stejná. Zjištěné hodnoty určují velikost zakřivení. Udává se maximální hodnota zakřivení. [28]

Poškození ploch hran a rohů se zkouší přiložením ocelového pravítka na povrch vzorku. Kolmo na pravítko se přiloží měřicí ocelová jehla, jejíž hrot se dotýká nejhlubšího místa poškození. Vzdálenost spodní hrany pravítka od hrotu jehly udává hloubku poškození. Výsledkem tohoto měření je maximální zjištěná hodnota a počet poškození na vzorku. [28]

Délka trhlinky se zjišťuje pomocí ocelového měřidla se zešíkmenou hranou nebo posuvným měřítkem. Za délku trhlinky se považuje nejkratší vzdálenost mezi začátkem a koncem. Šířka se zjišťuje měřicí lupou a udává se s přesností $\pm 0,1$ mm. Za šířku trhlinky se považuje největší naměřená hodnota. Hloubka trhlinek se zjišťuje měrnou jehlou (pokud to šířka trhlinky umožňuje) a je za ni považována největší naměřená hodnota. [28]

6.2. Stanovení skutečných rozměrů

Skutečné rozměry se stanovují podle normy ČSN EN 772-16 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 16: Stanovení rozměrů.

Podstatou zkoušky je změření základních rozměrů (délka, šířka a tloušťka), které se měří vždy na všech čtyřech plochách. Před měřením je nutno povrch zbavit všech výčnělků, výstupků apod., které by překážely měření. Pro každý rozměr se provedou 2 měření a následně se vypočte jejich aritmetický průměr s přesností na 1 mm. Po změření rozměrů se provádí zařazení vzorku do příslušné kvalitativní kategorie. [29]

Vnější vlastnosti		Kategorie				
Mezní odchylky jmenovitých rozměrů [mm]	Jmenovité rozměry [mm]	T1	T1+	T2	T2+	Tm
	290	± 7	± 7	± 4	± 4	> 7
	140	± 5	± 5	± 3	± 3	> 5
	65	± 3	± 1	± 2	± 1	> 3

Tab. 3 Kategorie mezních odchylek od jmenovitých rozměrů [29]

Je třeba si dát pozor, neboť každá cihelna dodává na trh CP v naprosto odlišných rozměrových třídách, které často ani nevyhovují požadavkům normy a neumožňují kombinovat své CP s produkty jiných výrobců. Ukážeme si to na hodnotách ze dvou cihelen.

Rozptyl rozměrů dodávaných cihel (10 měření):

Malenovice: (285,1-289,0) x (138,4 - 140,5) x (60,2 - 61,8) mm

Šitbořice: (299,3 - 300,9) x (149,2 - 151,0) x (63,4 - 65,4) mm

6.3. Stanovení nasákavosti a objemové hmotnosti

Zkouší se podle ČSN 72 2603 Skúšanie tehliarskych výrobkov, Stanovenie hmotnosti, objemovej hmotnosti a nasiakavosti a ČSN EN 772-16 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 16: Stanovení rozměrů.

Objemová hmotnost se zjišťuje na 10 vzorcích, nasákavost na 5 vzorcích. Pokud jsou výrobky velké, zjišťují se tyto vlastnosti na části výrobku. U objemové hmotnosti se odvážené výrobky podle ČSN 72 2603 změří podle ČSN EN 722-16. Objemová hmotnost se vypočítá ze vztahu:

$$\rho_v = \frac{m}{V} \cdot 1\,000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Kde: m ... průměrná hmotnost výrobku v [g]

V ... objem výrobku vypočtený ze zprůměrovaných vnějších rozměrů (včetně otvorů) [m³]

Objemová hmotnost se uvádí v kg.m⁻³ zaokrouhlená na nejbližší desítku. [29] [30]

Objemová hmotnost stanovená metodou hydrostatického vážení se zjišťuje na 5 vzorcích. Nejprve se zváží vysušený vzorek, poté nasáklý vodou a nakonec se nasáknuté vzorky ještě odváží ve vodě. Používá se převařená pitná voda o teplotě 20 ± 2 ° C. Hmotnost závěsu, ponořeného ve vodě se musí vynulovat a zároveň se musí před vážením odstranit všechny vzduchové bubliny. Vzorek se nesmí dotýkat stěn nebo dna nádoby. Objemová hmotnost se vypočítá ze vztahu:

$$\rho_v = \frac{m_s}{m_n - m_w} \cdot 1\,000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Kde: m_s ... hmotnost vysušeného vzorku [g]

m_n ... hmotnost nasáknutého vzorku [g]

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

Objemová hmotnost se uvádí v kg.m⁻³ zaokrouhlená na nejbližší desítku. [29] [30]

Nasákavost se uvádí v % hmotnosti vysušeného vzorku a umožňuje posoudit schopnosti cihlářských výrobků přijímat vodu. Zjišťuje se na vysušených a zvážených vzorcích, které se postaví svou nejmenší plochou do nádoby s destilovanou nebo pitnou vodou tak, aby se vzorky navzájem nedotýkaly a hladina vody byla alespoň 50 mm nad povrchem vzorků. Voda v nádobě se během 1 hodiny uvede do varu a udržuje se v něm 4 hodiny. Po ukončení varu se vzorky nechají ještě 16 až 24 hodin ve vodě. Pak se vyndají, osuší vlhkou tkaninou a do 5 minut zvaží. Nasákavost se vypočítá podle vzorce:

$$NV = \frac{m_n - m_w}{m_s} \cdot 100 [\%]$$

Kde: m_n ... hmotnost nasáknutého vzorku [g]

m_s ... ustálená hmotnost vysušeného vzorku [g]

Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr z 5 vzorků vyjádřený v % zaokrouhlený na nejbližších 0,1. [29] [30]

6.4. Stanovení mrazuvzdornosti

Mrazuvzdornost se stanovuje buďto přímo, nebo nepřímo.

6.4.1. Stanovení mrazuvzdornosti přímo

Mrazuvzdornost se stanovuje podle normy EN 772-22 (ČSN P CEN/TS) nebo ČSN 72 2609.

Vzorky z posuzovaného materiálu se umístí do speciálních zmrazovacích zařízení, která napodobují přímé působení mrazu a vody, kterému by byly vzorky vystaveny v exteriéru. Nevýhodou těchto metod je hlavně časová náročnost, způsobená opakovanými cykly zmrazování a rozmrazování (100 cyklů). Stanovení probíhá dle normy ČSN EN 772- 22. Mrazuvzdornost se zjišťuje na zkušebních panelech, které se nechají po dobu 7 dní nasáknuté v nádrži s vodou. [31]

6.4.2. Stanovení mrazuvzdornosti nepřímo

Slouží pouze k pomocným účelům a předběžnému odhadování chování výrobků při působení mrazu. Metody odhadují mrazuvzdornost na základě parametrů nasákavosti a pórovitosti. Metody jsou rychlé, ale ne vždy přesné. Obecně platí, že čím menší je nasákavost, tím větší je pravděpodobnost vyšší mrazuvzdornosti. [31]

Koeficient nasycení střepe (KNS) je poměr mezi nasákavostí za studena po 24 hodinách a nasákavostí varem po 5 hodinách. Dle výsledného poměru nasákavostí se poté může informativně provést klasifikaci dle Tab. 4. [31]

KNS	Vyhodnocení
KNS < 0,74	vysoká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
0,74 < KNS < 0,84	nejistá mrazuvzdornost
KNS > 0,84	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu

Tab. 4 Vyhodnocení koeficientu nasycení střepe (KNS) [31]

Saturační poměr T je poměr otevřených pórů naplněných vodou za atmosférického tlaku a ve vakuu. Vypočítá se ze vzorce:

$$T = \frac{m_{n,n} - m_{t,r}}{m_{n,v} - m_{t,r}}$$

Kde: $m_{n,n}$... hmotnost vzorku nasáklého vodou za normálního tlaku [kg]

$m_{n,v}$... hmotnost vzorku nasáklého za podtlaku ve vývěvě [kg]

$m_{t,r}$... hmotnost suchého vzorku [kg] [29]

T	Vyhodnocení
T < 0,75	vysoká pravděpodobnost mrazuvzdornosti
0,75 < T < 0,85	nejistá mrazuvzdornost
T > 0,85	výrobek je nemrazuvzdorný

Tab. 5 Vyhodnocení saturačního poměru [31]

6.5. Stanovení výskytu cicvářů

Stanovuje se podle normy ČSN 72 2607 Skúšanie tehliarskych výrobkov, Stanovenie výskytu cicvářův.

Cicvářy jsou zrna vápenatých sloučenin, která se vyskytují jako škodlivina v cihlářských zeminách. Mohou nepříznivě ovlivňovat kvalitu a použitelnost cihlářských výrobků. Škodlivé jsou tehdy, když způsobují změnu vzhledu větší, než připouští příslušná norma, nebo sníží průměrnou pevnost či únosnost o 20 %, případně dojde jejich vlivem k nevyhovujícímu průsaku. [32]

Zkouška probíhá na 5 celých výrobcích, které by předtím mohly být vystavené vlhkosti. Vzorky se prohlédnou, popíší a vloží na rošt do nádoby tak, aby se vzájemně nedotýkaly. Zhruba za hodinu se voda pod roštem přivede do varu a nádoba se přikryje víkem. Voda se udržuje v mírném varu další hodinu. Poté se vzorek nechá další 4 hodiny v uzavřené nádobě. Pak se vyndá, prohlédne a popíše. Nakonec se provede vyhodnocení. [32]

Nejsou viditelné změny	Vzorek cicvár neobsahuje
Viditelné změny jsou nepřipustné	Vzorek cicvár obsahuje – je škodlivý
Viditelné změny v rámci normy	Zkouší se pevnost nebo únosnost a poté se zhodnotí škodlivost cicvárů

Tab. 6 Kategorie obsahu cicváru [32]

6.6. Stanovení náchylnost k tvorbě výkvětů

Stanovení náchylnosti k tvorbě výkvětů se stanoví podle ČSN EN 772-5 ED.2 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 5: Stanovení obsahu aktivních rozpustných solí v pálených zdících prvcích.

Tyto soli způsobují nežádoucí zbarvení, případně mohou narušit soudržnost výrobku s omítkou nebo samotného střepu. Zkouška se provádí na 5 vzorcích. Očištěný výrobek se položí svou největší plochou do misky, do té se naleje destilovaná voda tak, aby její hladina přesahovala spodní okraj vzorku o 5 mm. Voda se nechá ve vzorku vzlínat tak dlouho, až je jeho horní plocha celá prosáknutá. Voda se postupně dolévá, aby výška vody zůstala stejná. Vzorek se pak vyndá z vody, zabalí se do polyethylenové folie, která se po obvodu stáhne gumou. Volná se nechá lícová strana vzorku, ze které se voda odpařuje. Na 1 kg hmoty je velikost této plochy 40 – 50 cm². Vzorek se nechá 14 dní v laboratorních podmínkách (tj. 20 ± 5 ° C a 50 – 70 % vlhkosti) vysušovat. [33]

Kategorie	Mezní hodnoty hmotností v %	
	Na ⁺ + K ⁺	Mg ²⁺
S0	nepožaduje se	nepožaduje se
S1	0,17	0,08
S2	0,06	0,03

Tab. 7 Kategorie obsahu aktivních rozpustných solí [33]

Pokud dané použití poskytuje úplnou ochranu proti pronikání vody (prvek je např. chráněn tlustou vrstvou omítky nebo obkladem, popř. se prvek ukládá do vnitřní vrstvy dutinové stěny nebo do zdiva vnitřních stěn), nemusí být deklarován obsah aktivních rozpustných solí (kategorie S0). [33]

Pro zjednodušení a urychlení posouzení náchylnosti střepu ke vzniku výkvětů lze použít ČSN 72 1565-13. Zkušební vzorek se postaví do misky s destilovanou vodou, která dosahuje do výšky 10 mm od spodního okraje vzorku. Vzorek se v misce ponechá po dobu 7 dní. Po tuto dobu se doplňuje voda, která se odpařila. Tento postup byl aplikován pro konkrétní případ zjišťovaná vzniku výkvětu na odřezaných fragmentech posuzovaných cihel (viz obr. 27 a 28). [34]

6.7. Stanovení pevnosti v tlaku

Pevnost v tlaku se stanovuje podle normy ČSN EN 772-1+A1 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku. Pevnost v tlaku se může stanovovat destruktivně, nebo nedestruktivní metodou.

6.7.1. Stanovení pevnosti v tlaku destruktivní metodou

Zkouška se provádí na zkušebním vzorku, který se uloží doprostřed na tlačnou desku zkušebního lisu. Opatrně zvyšujeme zatížení tak, aby horní tlačná deska opatřená kulovým kloubem dosedla na plochu vzorku. Poté se rovnoměrně zvyšuje zatížení působící na vzorek do doby, než dojde k porušení vzorku. Výsledná pevnost se poté vypočte ze vzorce:

$$\sigma_{pd} = \frac{F}{A} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Kde: F ... zatížení při porušení vzorku [N]

A ... tlačná plocha vypočtená ze změřených rozměrů původního vzorku [mm²]

Vypočtená hodnota se zaokrouhlí na nejbližších 0,1 N/mm². [35]

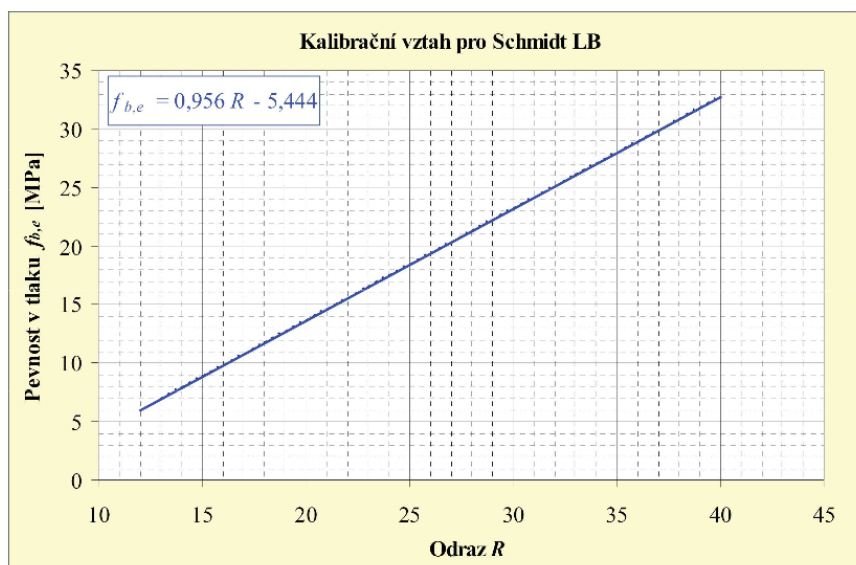
Pevnostní značka cihly	Pevnost v tlaku	
	MPa	
	průměrná	jednotlivá
P2	2	1,6
P4	4	3,2
P6	6	4,8
P8	8	6,4
P10	10	8
P15	15	12
P20	20	16
P25	25	20
P30	30	24
P35	35	28
P40	40	32

Tab. 8 Třídy pevnosti podle národní přílohy NA k EN 771-1 [2]

6.7.2. Nedestruktivní metoda – Schmidt LB

Tvrdoměrné metody zkoušení pevnosti cihel jsou modifikací metod používaných pro beton. Provádí se tvrdoměrem Schmidt LB, který je rozdílný od tvrdoměru na beton výrazně menším poloměrem kulové plochy razníku. Pro cihly bylo vytvořeno několik různých kalibračních vztahů pro nové i staré cihly. [36]

Zkouška se provádí tak, že se na obroušeném povrchu cihly provede minimálně 5 odrazů (optimálně 10) a zapíše se hodnota odrazu. Jednotlivá měření by se neměla od aritmetického průměru všech měření lišit o více než $\pm 20\%$. Hodnoty, které tomuto požadavku nevyhověly, se z měření vyloučí (hodnot by mělo zůstat alespoň 5). Z těchto zbylých hodnot se vyhotoví nový aritmetický průměr odrazů R , který se použije pro výpočet pevnosti v tlaku $f_{b,e}$ dle kalibračního vztahu. [36]



Obr. 31 Kalibrační vztah pro stanovení pevnosti v tlaku starých plných pálených cihel [62]

7. Experimentální část

Předmětem této části jsou vzorky dvou surovinových směsí ze dvou různých cihelen, u kterých zjišťujeme jejich vlastnosti a chemické složení. Jedná se o směsi z cihelny v Šitbořicích a z cihelny v Malenovicích, které se zásadně liší svým složením.

Obě cihelny využívají pro výpal kruhové pece, které jsou založené na principu zavezení vysušených cihel do komory, která se po zaplnění zazdí. Poté se na druhé straně pece založí oheň, který se během hoření udržuje sypáním uhlí přes otvory ve stropu komory. Potřebný vzduch k hoření se přivádí tahem komína, nebo moderněji pomocí ventilátoru, z otevřeného manipulačního otvoru komory, kde jsou již cihly vypáleny a vyvázejí se. Po vypálení jedné komory a vyvezení protilehlé, se celý cyklus posune o jednu komoru. Celý proces se posunuje zpravidla rychlostí o jednu komoru za jeden den.

V kruhové peci dochází k nerovnoměrnému výpalu, což způsobuje různou kvalitu výrobků z cihelny Šitbořice, které se poté musí ručně třídít do skupin. Cihelna Malenovice má částečně automatizovaný výpal, tedy nedochází k takovým rozdílům kvality, ale není zcela známá teplota výpalu. Konkrétní teplotu výpalu se pokusíme odvodit z nasákavosti provedené na již vypálené cihle z cihelny Malenovice v porovnání se vzorky vypálené laboratorně.

Cihly lícové musí splňovat požadavky na rozměry, které jsou dle normy stanoveny na 290 x 140 x 65 s povolenými normovými odchylkami. Dále musí splňovat požadavky na vzhled (barva, výkvětovost, cicváry). Důležitým požadavkem, který by měly cihly lícové splňovat je mrazuvzdornost.

7.1. Popis zkoušených vzorků

Zkoušené vzorky jsou nařezané čtvrtky výsušku cihly standardního rozměru (290 x 140 x 65 mm). Tyto vzorky se poté vysušily v sušárně na konstantní hmotnost. Po vysušení se vzorky vypálily v laboratorní elektrické peci při požadované teplotě. Nárůst teploty v peci byl 2 ° C/min a při dosažení požadované teploty se provedl výpal na této teplotě po dobu 120 minut. Po výpalu se vzorky samovolně ochladily. Vzorek ZL0 je děrovaná lícová cihla standardního rozměru, která již byla dodána vypálená.

Vzorek	Teplota výpalu [° C]	Původ	Vzorek	Teplota výpalu [° C]	Původ
S1	750	Šitbořice	ZL1	750	Malenovice
S5			ZL4		
S2	850		ZL2	850	
S6			ZL5		
S3	950		ZL3	950	
S7			ZL6		
S4	1050		Celá cihla ZL0	Neznámá	
S8					

Tab. 9 Vstupní údaje o vzorcích

7.2. Nasákavost a objemová hmotnost

V rámci zkoušení se provedly hmotností měření vysušeného a vypáleného vzorku. Následně se vzorky S1 – S3 a ZL1 – ZL3 vysušily a zvažily, poté se vzorky ponechaly po dobu 24 hodin ve vodě a provedla se zkouška varem, po každém zkoušení se vzorky zvažily. Pro výpočet objemové hmotnosti pórovitých vzorků ZL1 – ZL3 se ještě provedlo hydrostatické vážení.

Vzorek	m _s [g]	m _p [g]	m _s [g]	m ₂₄ [g]	m _{var} [g]
S1	1316,96	1192,28	1217,55	1433,17	1451,17
S5	1273,23	1151,82			
S2	1189,30	1023,17	1050,98	1251,91	1275,31
S6	1289,49	1109,42			
S3	1281,42	1101,34	1113,19	1343,22	1375,00
S7	1158,58	994,53			
S4	1120,99	960,89	961,90	1157,52	1201,21
S8	1194,75	1025,21			

Tab. 10 Hmotnostní změny vzorků S

Vzorek	m_s [g]	m_p [g]	m_s [g]	m_{24} [g]	m_{var} [g]	m_{nw} [g]
ZL1	1048,20	983,20	983,70	1097,68	1112,12	613,42
ZL4	839,10	787,00				
ZL2	963,60	902,50	902,10	995,73	1016,26	562,98
ZL5	526,00	493,70				
ZL3	1000,80	933,30	936,60	1005,36	1035,56	580,30
ZL6	1007,90	939,20				
ZL0		3854,00		4168,00		

Tab. 11 Hmotnostní změny vzorků směsi ZL

Z těchto hodnot se poté vypočetla nasákavost podle vzorce:

$$NV = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 [\%]$$

Kde: m_1 ... hmotnost vysušeného vzorku [g]

m_2 ... hmotnost nasáklého vzorku (m_{var}) [g]

Z naměřených hodnot se vypočetla objemová hmotnost vzorků směsí S pomocí vzorce:

$$OH = \frac{m}{V} \cdot 1\,000 [\text{kg/m}^3]$$

Kde: m ... průměrná hmotnost výrobku v [g]

V ... objem výrobku vypočtený ze zprůměrovaných vnějších rozměrů (včetně otvorů) v m^3

Objemová hmotnost vzorků ZL se vypočetla podle vzorce:

$$OH = \frac{m_s}{m_n - m_{nw}} \cdot 1\,000 [\text{kg/m}^3]$$

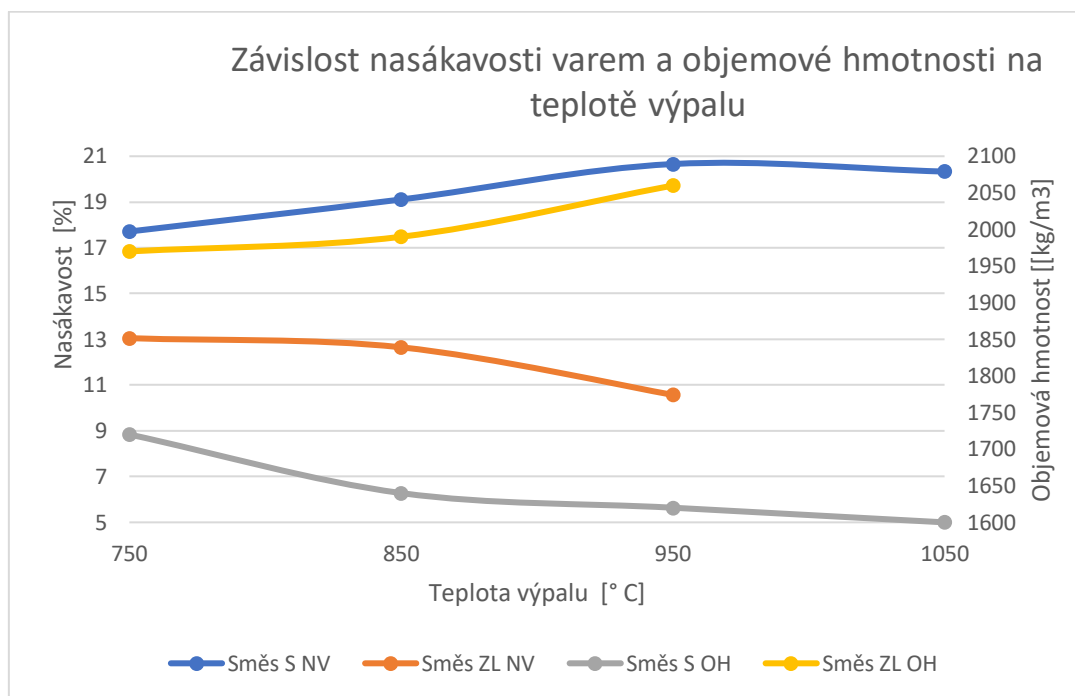
Kde: m_s ... hmotnost vysušeného vzorku [g]

m_n ... hmotnost nasáknutého vzorku [g]

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

Vzorek	NV_{24} [%]	NV_{var} [%]	OH [kg/m^3]	Vzorek	NV_{24} [%]	NV_{var} [%]	OH [kg/m^3]
ZL1	11,6	13,1	1970	S1	17,7	19,2	1720
ZL4				S5			
ZL2	10,4	12,7	1990	S2	19,1	21,3	1640
ZL5				S6			
ZL3	7,3	10,6	2060	S3	20,7	23,5	1620
ZL6				S7			
ZL0	8,2			S4	20,3	24,9	1600
				S8			

Tab. 12 Nasákavost po 24 h ve vodě, po zkoušce varem a objemová hmotnost směsí S a ZL



Graf 1 Závislost nasákavosti a objemové hmotnosti na teplotě výpalu

Z výsledků je patrné, že nejvyšší nasákavost směsi S měl vzorek S3 vypálený při teplotě 950 °C a nejnižší hodnoty dosahuje při teplotě výpalu 750 °C, kdy je i největší objemová hmotnost vzorku. Mezi teplotami výpalu 750 °C a 850 °C se nasákavost zvyšuje a při růstu teplot z 950 °C na 1050 °C se nasákavost nepatrně snižuje. Nejnižší objemová hmotnost byla při teplotě výpalu 1050 °C.

Vzorky ze suroviny ZL měly nejvyšší nasákavost při teplotě výpalu 750 °C, při které byla nejmenší objemová hmotnost. Při teplotě 850 °C nasákavost klesla jen lehce a při teplotě výpalu 950 °C nasákavost znatelně poklesla a nabývá nejnižší hodnoty, ale má největší objemovou hmotnost. Po porovnání hodnot nasákavosti vzhledem k teplotě výpalu suroviny ZL je patrné, že s rostoucí teplotou výpalu nasákavost klesá. Můžeme tedy odhadnout, že teplota výpalu vzorku ZL0 vypáleného v cihelně Malenovice byla v rozmezí 850 – 950 °C, nejspíše kolem 915 °C.

7.3. Mrazuvzdornost

Z nasákavosti můžeme dále odhadnout mrazuvzdornost výrobků, kdy obecně platí, že s klesající nasákavostí roste mrazuvzdornost. Pro potvrzení tohoto tvrzení si vyhotovíme koeficient nasákavosti střepu. Koeficient nasycení střepu (KNS) je v podstatě poměr mezi nasákavostí za studena po 24 hodinách a nasákavostí varem. Dle výsledného poměru nasákavostí se poté může informativně provést klasifikaci dle Tab. 4.

Vzorek	NV ₂₄	NV _{var}	KNS	Vyhodnocení
ZL1	11,6	13,1	0,89	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
ZL2	10,4	12,7	0,82	nejistá mrazuvzdornost
ZL3	7,3	10,6	0,69	vysoká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
S1	17,7	19,2	0,92	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
S2	19,1	21,3	0,90	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
S3	20,7	23,5	0,88	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
S4	20,3	24,9	0,82	nejistá mrazuvzdornost

Tab. 13 Vyhodnocení koeficientu nasycení zkoušených vzorků (KNS)

Dle vyhotovené tabulky je zřetelné, že vzorek ZL3 vypálený při teplotě 950 °C, bude s největší pravděpodobností mrazuvzdorný. U vzorků ZL2 (850 °C) a S4 (1050 °C) je mrazuvzdornost nejistá, vzorek nasákový může či nemusí být. Zbylé vzorky ZL1 (750 °C), S1 (750 °C), S2 (850 °C) a S3 (950 °C) budou nejspíše nemrazuvzdorné.

7.4. Výkvětovost

Dále můžeme posoudit náchylnost ke tvorbě výkvětů u jednotlivých vzorků a pokusit se navrhnout teplotu výpalu, při které by vypálený vzorek měl co nejnižší nasákovost, vhodnou barvu a byl co nejméně náchylný ke tvorbě výkvětů.



Obr. 32 Výkvěty na vzorcích S [63]

Z tohoto obrázku je patrné, že nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek směsi S při teplotě výpalu 950 °C a nejméně při teplotě 850 °C. Po srovnání s výsledky nasákovosti by bylo vhodné směr vypalovat zhruba při teplotě 800 °C, aby měl vzorek co nejnižší nasákovost a náchylnost k tvorbě výkvětů.

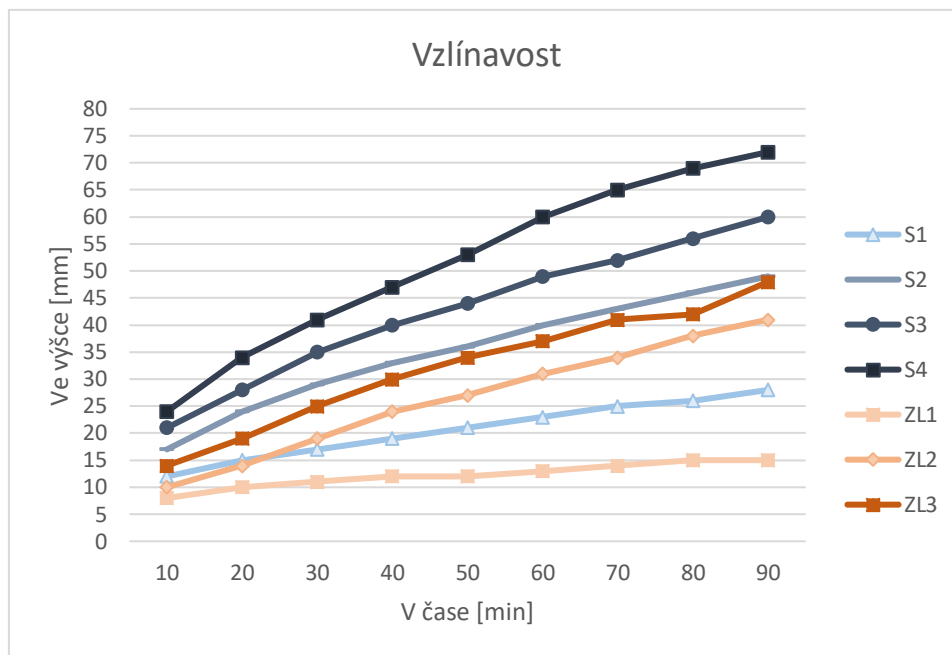


Obr. 33 Výkvěty na vzorcích ZL [64]

Po přezkoumání obrázku se jeví, že nejmenší náchylnost ke vzniku výkvětů má vzorek ZL3 (950 ° C), naopak vzorek ZL1 (750 ° C), je ke vzniku výkvětů nejnáchylnější. Když k tomu přidáme i nasákavost vzorků, tak můžeme odhadnout, že nejlepší by bylo směr vypalovat při teplotě 1000 ° C a více, pro co nejnižší nasákavost a náchylnost k tvorbě výkvětů.

7.5. Vzlínavost

Jelikož se u některých směsí, zejména těch vápenatých, v závislosti na teplotě výpalu prakticky nemění objemová hmotnost či nasákavost, tak je vhodné použít jiné jednoduché metody, které by nám umožnily identifikovat teplotu výpalu v kruhové peci. Pro tento účel je vhodná například vzlínavost, která by měla s rostoucí teplotou výpalu růst. [37]



Graf 2 Vzlínavost

Dle grafu je patrné, že tento předpoklad byl splněn a u obou posuzovaných střepe s rostoucí teplotou výpalu vzlínavost roste.

7.6. Chemické složení

Jelikož má každá ze zkoušených směsí jiný surovinový základ, je důležité zjistit jaké je její chemické složení. To nás zajímá hlavně kvůli obsahu CaO a Fe₂O₃, která nám ovlivňují barvu (železo červená, CaO zesvětluje). Obsah CaO nám také výrazně ovlivňuje délkové smrštění při výpalu, kdy nedochází k velkým objemovým změnám (viz 7.6. Objemové změny). Podle obsahu CaO dělíme suroviny na vápenaté a nevápenaté.

Zkoušené vzorky ze směsi z cihelny Malenovice měly znatelně červenou barvu, tedy je možné usoudit, že obsahovaly vyšší množství Fe₂O₃ a menší množství CaO. Naopak vzorky ze směsi ze Šitbořic měly velmi světlou barvu, dá se předpokládat, že obsahovaly vyšší množství CaO. Toto tvrzení je ale nutné podložit výsledky, a proto se vyhotovila laboratorní chemická analýza.

Chemická analýza		Surovina ZL3		Surovina S1	
Parametr	Jednotka		NM		NM
Ztráta sušením (105 C)	%	2,090	10 %	1,550	10 %
Ztráta žiháním 1100 C	% suš.	4,850	10 %	14,300	10 %
Oxid vápenatý	% suš.	0,899	10 %	11,200	10 %
Oxid hořečnatý	% suš.	1,200	10 %	4,460	10 %
Oxid draselný	% suš.	2,280	10 %	2,220	10 %
Oxid hlinitý	% suš.	13,100	10 %	10,800	10 %
Oxid fosforečnatý	% suš.	0,058	10 %	0,088	10 %
Oxid železitý	% suš.	5,040	10 %	4,050	10 %
Oxid manganatý	% suš.	0,126	10 %	0,062	10 %
Oxid sodný	% suš.	0,449	10 %	0,968	10 %
Oxid křemičitý	% suš.	71,400	10 %	51,500	10 %
Oxid titaničitý	% suš.	0,679	10 %	0,544	10 %
Poznámka: Vzorek byl pro stanovení kovů vytaven s LiBO ₂ , NM – nejistota měření					

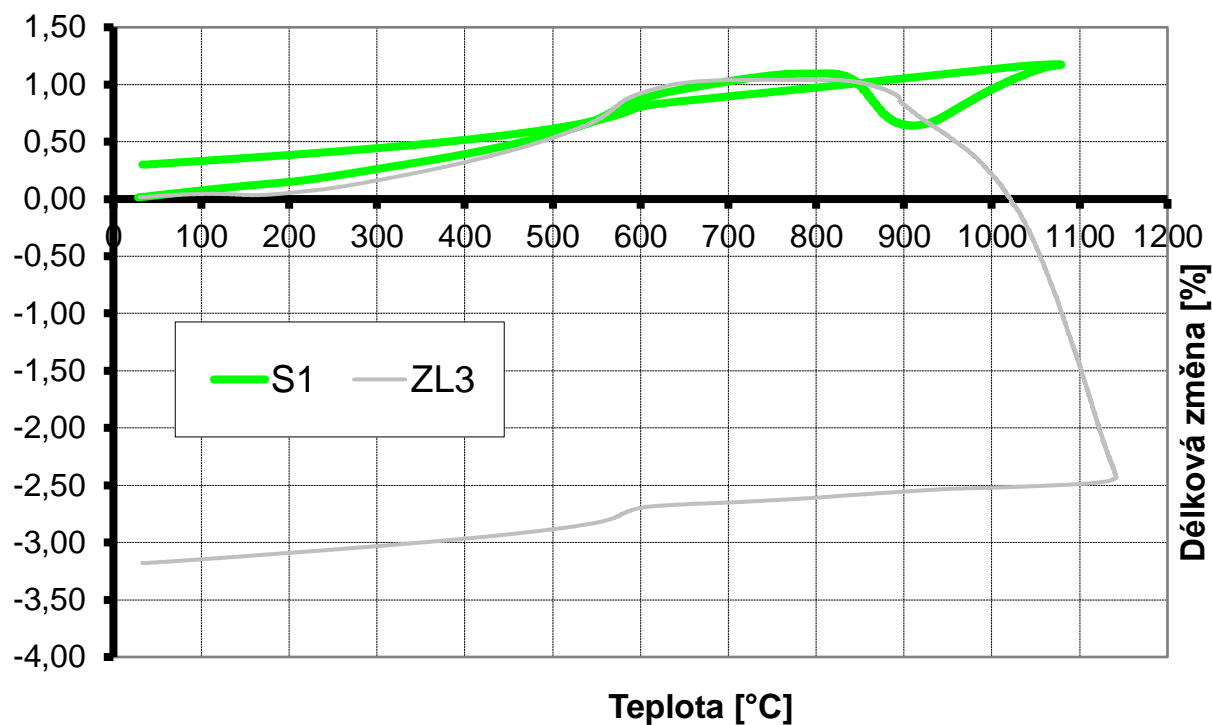
Tab. 14 Chemická analýza vzorků ZL3 a S1

Z výsledků je patrné, že hlavní složkou suroviny ZL1 je oxid křemičitý (71,40 %), směs také obsahuje vysoký obsah oxidu hlinitého (13,10 %). Dále můžeme vidět, že směs obsahuje vysoké množství oxidu železitého a malé procento oxidu vápenatého, tedy se nejedná o vápenatou zeminu. Ztráta žiháním při teplotě 1100 °C je 4,85 % a ztráta sušením 2,09 %.

Směs S1 se skládá hlavně z oxidu křemičitého (51,5 %), dále pak z velkého množství oxidu hlinitého (10,8 %) a obsahuje vysoké množství oxidu vápenatého (11,2 %), jedná se tedy o vápenatou zeminu. Ztráta žiháním je pak 14,3 % a ztráta sušením 1,55 %.

7.6. Objemové změny při výpalu

Jelikož známe chemické složení suroviny, můžeme porovnat jaký má vliv na výpal střepe. Zda dochází k objemovým změnám či nikoliv.



Graf. 3 DKTA vzorků S1 a ZL3

Z grafu DKTA je patrné, že směs S1, která obsahovala velké množství vápence, neměla velké objemové změny, jelikož při výpalu vznikala anortit a docházelo k objemovému nárůstu. Směs ZL3 vápenec v takovém množství neobsahovala, tedy docházelo při výpalu ke smrštění.

8. Závěr

Teoretická část práce pojednává o historickém vývoji cihel z různých hledisek, jako je například vyvíjející se technologický postup výroby, ke kterému docházelo díky technickému pokroku, přinášejícímu celou řadu vynálezů. Od ruční výroby se postupem času přešlo k automatizovanému výrobnímu procesu, ve kterém hraje důležitou roli průběžná kontrola kvality výrobků, kterou si moderní doba stále více vyžaduje. Kromě kvality rostou i požadavky na pestrý sortiment keramických výrobků. Ve srovnání s technikou se však samotné cihly během svého vývoje moc nezměnily. Jejich tvar a rozměry se liší jen nepatrně od těch historických a hlavní surovinou výroby zůstává stále kvalitní cihlářská hlína. Důležitou roli pro zajištění kvality a požadovaných vlastností výrobků mají i vyvíjející se metody jejich zkoušení.

V praktické části se navrhla metodika pro posouzení kvality současných plných pálených cihel, které jsou v dnešní době důležitým prvkem pro rekonstrukce historických budov. Poté se pro kontrolu navržené metodiky vybraly dvě cihelny, které vyrábějí i cihly lícové a odebraly se výsušky. V první řadě se stanovovala jejich nasákavost a mrazuvzdornost, které jsou pro použití lícového zdiva klíčové. Dále se stanovila jejich objemová hmotnost, vzhled (výkvěty, cicváry, barva), chemické složení a objemové změny při výpalu.

Dle dosažených výsledků je patrné, že vzorky ze suroviny S (Šitbořice) obsahují velké množství vápence, mají tedy světlou barvu a během výpalu nedochází k velkým objemovým změnám. Vzorky ZL (Malenovice) obsahují velké množství železa a málo vápence, jsou tedy dost červené a během výpalu dochází ke smrštění. Nasákavost pro vzorky S při rostoucí teplotě výpalu rostla, ale jejich objemová hmotnost klesala, pro vzorky ZL to bylo přesně naopak. Mrazuvzdornost se stanovila jen odhadem a není tedy úplně přesná, ale udává, že jen vzorek ZL (vypálený při teplotě 950 °C) bude nejspíš mrazuvzdorný.

Pokud bychom chtěli stanovit ideální teplotu výpalu s ohledem na co nejnižší nasákavost a náchylnost k tvorbě výkvětů, tak by se teplota pro směs S pohybovala kolem 800 °C a pro směs ZL by byla nad 1000 °C.

9. Literatura

- [1] Pytlík, P., Sokolář, R. *Stavební keramika. Technologie, vlastnosti a využití*. CERM Brno 2002, ISBN 80-7204-234-3
- [2] Cihlářský svaz Čech a Moravy. *Cihlářský lexikon*. 2. vydání. České Budějovice: CSCM, 2007. 160 s.
- [3] Lach, V. *Mikrostruktura stavebních látek*. 2. vyd. Brno: VUT, 1991. 178 s. ISBN 80-214-0309-8
- [4] Pytlík, P. *Cihlářství*, 1. vyd. Brno CERM 1995, 264 s.
- [5] *The history of bricks* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: http://www.brickdirectory.co.uk/html/brick_history.html
- [6] *Historie cihly od neolytu přes Babylon až po současnost* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/historie-cihly/>
- [7] *Staré cihly: Historie cihel se značkami* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: http://davar.cz/badatelna/xref/cih_historie.htm/
- [8] *Stručná historie cihlářství* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://cihlarstvi.estranky.cz/clanky/historie-cihlarstvi/strucna-historie-cihlarstvi.html/>
- [9] *Současný technologický postup cihlářství* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z https://www.spsstavcb.cz/download2/633_2350_cs_04a_cihlarske_vyrobky_technologie_vyroby.pdf/
- [10] *Výpal cihel v komorové peci* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: https://www.fabriky.cz/coajak/coajak_cihla.htm/
- [11] ADÁMEK, Jiří, Bohumil NOVOTNÝ a Jan KOUKAL. *Stavební materiály*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 1997. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0631-3.
- [12] *Režné zdivo, Cihla klinker* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://www.klinkercentrum.cz/proc-zvolit-klinker/>
- [13] *Cihelné bloky a tvárnice* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/14780-historicky-objekt-z-hlediska-puvodu-a-kvality-pouziti-cihelných-zdicích-prvku/>
- [14] EBEL, Martin, ed. *Sborník vybraných referátů z konference Dějiny staveb*. 1. Ústí nad Labem: Fakulta Architektury ČVUT, 2001. ISBN 80-86596-02-8.

- [15] *Současné požadavky na cihly plně pálené* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.historickecihly.cz/projekt/workshop2019/>
- [16] SOUCHA, Antonín. *Vady cihlářských výrobků*, 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
- [17] *Types of defects in bricks* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.engineering-society.com/2018/05/common-types-of-defects-in-brick.html>
- [18] *Cihelna Šitbořice, sortiment* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://www.cihelnasitborice.cz/>
- [19] *Cihelna Polom, sortiment* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://www.cihelnapolom.cz/cs/>
- [20] *Cihelna Miskolezy, Česká Skalice, sortiment* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://cihelna-skladka.cz/cihelna>
- [21] *Cihelna Bratronice, výrobky* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://www.cihelnabratronice.cz/>
- [22] *Cihelna Vysoké Mýto, sortiment* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://cihelna.hrabcuk.cz>
- [23] *Cihelny Zlín, Malenovice a Holešov, Žopy, výrobky* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://www.cihelny-zlinsko.cz>
- [24] *Cihelna Praha, Štěrboholy, výrobky* [online]. [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <http://www.stavite.cz/index.html>
- [25] *Pezinská cihelna, sortiment* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.pezinske-tehelne.sk>
- [26] *Myjavská cihelna, výrobky* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://www.myjavskatehelna.sk>
- [27] *Ipelská cihelna, sortiment* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.britterm.sk>
- [28] ČSN 72 2602 Skúšanie tehliarskych výrobkov, Zisťovanie vzhľadu a rozmerov: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1979.
- [29] ČSN EN 772-16 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 16: Stanovení rozměrů: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

- [30] ČSN 72 2603 Skúšanie tehliarskych výrobkov, Stanovenie hmotnosti, objemovej hmotnosti: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1979.
- [31] ČSN EN 772-22 Zkušební metody pro zdící prvky – část 22: Stanovení mrazuvzdornosti pálených zdících prvků: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [32] ČSN 72 2607 Skúšanie tehliarskych výrobkov, Stanovenie výskytu cicvárov: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1979.
- [33] ČSN EN 772-5 ED.2 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 5: Stanovení obsahu aktivních rozpustných solí v pálených zdících prvcích: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [34] ČSN 72 1565-13 Zkoušení cihlářských zemin, Stanovení náchylnosti ke tvorbě výkvětů: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986.
- [35] ČSN EN 772-1+A1 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986.
- [36] *Nedestruktivní zkouška pevnosti – Schmidt LB* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/ESF_C4_N%C2%A0vod.pdf
- [37] Sokolář, R., Smetanová, L. *Keramika – laboratoře/Modul BJ02-M01*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, [2006]. 120 s.

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

- [38] Obr.1 Zikkurat Chogha Zanbil, Irán [online]. 2019 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.cscm.cz/dejiny-cihly-jsou-dejinami-lidstva-1-dil-od-usvitu-historie/>
- [39] Obr. 2 Ruční těžba hlíny v hlíníku [online]. 2012 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://cihlarstvi.estranky.cz/clanky/vyroba-cihel/vyroba-cihel--cesta-z-hliniku-do-pece.html>
- [40] Obr. 3 Dřevěná forma se značením na cihly [online]. 2012 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://cihlarstvi.estranky.cz/clanky/obrazky/formy-na-cihly.html>
- [41] Obr. 4 Zavážení cihel do sušárny [online]. 2012 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://cihlarstvi.estranky.cz/clanky/vyroba-cihel/vyroba-cihel--cesta-z-hliniku-do-pece.html>
- [42] Obr. 5 Schéma Hoffmanovy pece [online]. 2012 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://cihlarstvi.estranky.cz/clanky/kruhove-pece/hoffmannova-kruhova-pec.html>

- [43] Obr. 6 Těžba hlíny korečkovým rypadlem [online]. 2012 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://cihlarstvi.estranky.cz/clanky/vyroba-cihel/vyroba-cihel--cesta-z-hliniku-do-pece.html>
- [44] Obr. 7 Komorová sušárna [online]. 2012 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://cihlarstvi.estranky.cz/clanky/vyroba-cihel/vyroba-cihel--cesta-z-hliniku-do-pece.html>
- [45] Obr. 8 Tunelová pec [online]. 2013 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/9789-dolnobukovska-pec-na-vyrobu-cihel-prosla-rekonstrukci>
- [46] Obr. 9 Kolejnicový vjezd do kruhové pece [vlastní tvorba]
- [47] Obr. 10 Ukládání cihel v kruhové peci [vlastní tvorba]
- [48] Obr. 11 Tabulka rozměrů cihel pro monarchii podle Martina Ebela [online]. 2001 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <http://www.evida.cz/mikota/DESTA01/DESTA01-s030-033-Ebel.pdf>
- [49] Obr. 12 Tabulka rozměrů cihel pro Čechy a Moravu podle Martina Ebela [online]. 2001 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <http://www.evida.cz/mikota/DESTA01/DESTA01-s030-033-Ebel.pdf>
- [50] Obr. 13 Značka výrobce Heinricha von Drasche [online]. 2013 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://cihlarstvi.estranky.cz/clanky/historie-cihlarstvi/strucna-historie-cihlarstvi.html>
- [51] Obr. 14 Cihly napadené texturou [vlastní tvorba]
- [52] Obr. 15 Barevné rozdíly cihel [vlastní tvorba]
- [53] Obr. 16 a 17 Cihla plná pálená [online]. 2020 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://www.cihelnasitborice.cz/>
- [54] Obr. 18 Cihla plná [online]. 2020 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://www.cihelnapolom.cz/cs/>
- [55] Obr. 19 a 20 Cihla plná pálená a pálená s prolisem [online]. 2020 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://www.cihelnabratronice.cz/>
- [56] Obr. 21 a 22 Cihla plná pálená a nepálená [online]. 2020 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://cihelna.hrabcuk.cz/>

- [57] Obr. 23 a 24 Cihla plná pálená a plná pálená šancovka [online]. 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <http://www.cihelny-zlinsko.cz/>
- [58] Obr. 25,26 a 27 Cihla plná pálená, CP a NF [online]. 2020 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://www.stavite.cz/index.html/>
- [59] Obr. 28 Cihla plná pálená [online]. 2020 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://www.stavite.cz/index.html/>
- [60] Obr. 29 Cihla plná – ANTIK [online]. 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.britterm.sk/>
- [61] Obr. 30 Barva střepu dle teploty výpalu [online]. 2019 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.historickecihly.cz/projekt/workshop2019/>
- [62] Obr. 31 Kalibrační vztah pro stanovení pevnosti v tlaku starých plných pálených cihel [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/ESF_C4_N%C2%A0vod.pdf
- [62] Obr. 32 Výkvěty na vzorcích S [vlastní tvorba]
- [62] Obr. 33 Výkvěty na vzorcích ZL [vlastní tvorba]

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1 Kategorie obsahu aktivních rozpustných solí [15]
- Tab. 2 Kategorie mrazuvzdornosti pálených prvků [15]
- Tab. 3 Kategorie mezních odchylek od jmenovitých rozměrů [29]
- Tab. 4 Vyhodnocení koeficientu nasycení střepu (KNS) [31]
- Tab. 5 Vyhodnocení saturačního poměru [31]
- Tab. 6 Kategorie obsahu cicváru [32]
- Tab. 7 Kategorie obsahu aktivních rozpustných solí [33]
- Tab. 8 Třídy pevnosti podle národní přílohy NA k EN 771-1 [2]
- Tab. 9 Vstupní údaje o vzorcích
- Tab. 10 Hmotnostní změny vzorků S
- Tab. 11 Hmotnostní změny vzorků směsi ZL
- Tab. 12 Nasákavost po 24 h ve vodě, po zkoušce varem a OH směsí S a ZL
- Tab. 13 Vyhodnocení koeficientu nasycení zkoušených vzorků (KNS)
- Tab. 14 Chemická analýza vzorků ZL3 a S1

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Závislost nasákavosti a objemové hmotnosti na teplotě výpalu

Graf 2 Vztlínavost

Graf 3 DKTA vzorků S1 a ZL3