



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

PLNÁ PÁLENÁ CIHLA V SOUČASNÉ DOBĚ – PERSPEKTIVY, MOŽNOSTI, TECHNOLOGIE

CONTEMPORARY TECHNOLOGY OF CLAY BRICKS PRODUCTION – POSSIBILITIES AND
PERSPECTIVES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lenka Polláková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. RADOMÍR SOKOLÁŘ, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N0732A260027 Stavební inženýrství – stavební materiály a technologie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Lenka Polláková
Název	Plná pálená cihla v současné době – perspektivy, možnosti, technologie
Vedoucí práce	doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

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

Plná pálená cihla nachází v současné době využití především při rekonstrukcích nechráněného zdiva historických objektů. Požadavky na jejich vlastnosti jsou často velmi přísné a mimo tradičních parametrů (pevnost, mrazuvzdornost apod.) je často řešena i kompatibilita s původními materiály v barvě nebo mineralogickém složení. Plná pálená cihla je v České republice vyráběna velmi omezeně několika malými cihelnami, které disponují často až historickou technologií vesměs s výpalem v kruhových pecích. Tomu také odpovídá značná variabilita jejich vlastností. Na druhou stranu jsou tyto cihelny schopny velmi pružně reagovat na požadavky projektu, k čemuž je ovšem nezbytné detailně znát možnosti surovinové základny dané cihelny.

Cíle diplomové práce lze shrnout do následujících bodů:

- v teoretické části práce shrnout legislativní požadavky na plnou pálenou cihlu (historie vs. současnost) a vytvořit databázi současných výrobců v ČR a SR (sortiment, objem výroby, deklarované parametry apod.),
- v praktické části posoudit možnosti (odhalit potenciál surovinové základny) současných výrobců a detailně popsat především slínavost (závislost pórovitosti, pevnosti, vzlínavosti apod. střepu v závislosti na teplotě výpalu) dostupných výrobních směsí z různých cihelen ČR, jež cílí na výrobu plných pálených cihel,
- porovnat mineralogické složení (RTG difrakční analýza) a chování během výpalu (DKTA, DTA, TG) surovinových směsí používaných pro výrobu plných pálených cihel v ČR,
- pro každou surovinovou směs navrhnout optimální teplotu výpalu pro dosažení specifických fyzikálně mechanických parametrů (mrazuvzdornost, pevnost, vzhled (barva střepu) apod.).

Předpokládaný rozsah práce cca 60 stran.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se v teoretické části zabývá cihlářskou výrobou, základními surovinami pro výrobu cihel a samotným technologickým postupem výroby. Dále se zaměřuje přímo na cihlu plnou pálenou, její legislativní požadavky a výrobce, kteří tuto cihlu v současnosti vyrábějí u nás a na Slovensku. V praktické části jsou posléze posuzovány možnosti současných výrobců, zejména co se týče slínivosti, mineralogického složení a chování během výpalu jejich výrobních směsí. Nakonec se navrhne optimální teplota výpalu dostupných směsí, aby se dosáhlo ideálních parametrů, mezi které patří mrazuvzdornost, pevnost, vzhled apod.

KLÍČOVÁ SLOVA

cihlářská výroba, suroviny, postup výroby, cihla plná pálená, legislativní požadavky na CP, cihelny v ČR a SK, cihelný střep, cihlářské zeminy, fyzikálně mechanické vlastnosti

ABSTRACT

In the theoretical part, this diploma thesis deals with brick production, basic raw materials for brick production and the technological process of production itself. It also focuses directly on the fired brick, its legislative requirements and manufacturers who currently produce this brick in the Czech Republic and Slovakia. The possibilities of current manufacturers are assessed in the practical part, especially in terms of salinity, mineralogical composition and behavior during firing of their production mixtures. As last the optimal firing temperature of the available mixtures is designed to achieve ideal parameters as frost resistance, strenght, appearance etc.

ABSTRAKT

brick production, raw materials, production process, full fired brick, legislative requirements, brickyards in the Czech Republic and Slovakia, brick shard, brick soils, physical and mechanical properties

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Lenka Polláková *Plná pálená cihla v současné době – perspektivy, možnosti, technologie*. Brno, 2021. 116 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Plná pálená cihla v současné době – perspektivy, možnosti, technologie* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 14. 1. 2022

Bc. Lenka Polláková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Plná pálená cihla v současné době – perspektivy, možnosti, technologie* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14. 1. 2022

Bc. Lenka Polláková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych tímto poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Radomíru Sokoláři Ph.D. za pedagogické a odborné vedení a cenné rady při zpracování této diplomové práce. Dále pak i rodině a blízkým, kteří mě po celou dobu podporovali.

V Brně dne 14.1.

.....

Bc. Lenka Polláková
autor práce

OBSAH

I. TEORETICKÁ ČÁST	10
1. Úvod	10
2. Cihlářská výroba	11
2.1 Suroviny	15
2.2 Výrobní postup.....	17
2.2.1 Těžba a haldování.....	17
2.2.2 Homogenizace	18
2.2.3 Tvarování	18
2.2.4 Sušení	19
2.2.5 Vypalování a chlazení.....	20
2.2.6 Balení, skladování a expedice	21
2.2.7 Ekologický dopad.....	22
2.3 Sortiment cihlářských výrobků pro zdění	22
2.4 Cihla plná pálená	25
2.4.1 Legislativní požadavky na vlastnosti.....	26
2.4.2 Cihlářské závody	28
2.4.2.1 Cihelna Vysoké Mýto.....	29
2.4.2.2 Cihelna v Praze, Štěrboholech	30
2.4.2.3 Zlínská cihelna v Malenovicích.....	32
2.4.2.4 Cihelna Holešov, Žopy.....	32
2.4.2.5 Šitbořická cihelna.....	33
2.4.2.6 Bratronická cihelna	34
2.4.2.7 Cihelna v Polomi	35
2.4.2.8 Miskolezská cihelna.....	35
2.4.2.9 Cihelna v Pezinku.....	36
2.4.2.10 Cihelna Myjava.....	37
2.4.2.11 Ipeľská cihelna	37
II. PRAKTICKÁ ČÁST	38
3. Cíl práce	38
4. Metodika zkoušení	38
4.1 Stanovení vlastností lícových cihel	38
4.1.1 Posouzení vzhledu a barvy.....	39
4.1.2 Skutečné rozměry.....	41
4.1.3 Stanovení nasákavosti, objemové hmotnosti a zdánlivé pórovitosti.....	41
4.1.4 Stanovení ztráty hmotnosti a délkových změn při výpalu.....	44
4.1.5 Výskyt cicvárů.....	45
4.1.6 Stanovení náchylnosti ke tvorbě výkvětů.....	46
4.1.7 Mrazuvzdornost.....	47
4.1.7.1 Stanovení mrazuvzdornosti přímou metodou.....	47
4.1.7.2 Stanovení mrazuvzdornosti nepřímou	48

4.1.8 Stanovení mechanických vlastností	49
4.1.8.1 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu	49
4.1.8.2 Pevnost v tlaku	50
4.2 Metodika zkoušení cihlářských zemin	51
4.2.1 Rentgenová difrakční analýza (RTG)	51
4.2.2 Diferenční termická a gravimetrická analýza	52
4.2.3. Kontrakčně-dilatační termická analýza (KDTA)	52
5. Experimentální část	53
5. 1 Vlastnosti vypáleného cihlářského střepu	53
5.1.1 Zkoušené vzorky	53
5.1.2. Výpočet nasákavosti, objemové hmotnosti a zdánlivé pórovitosti	55
5.1.3 Ztráta hmotnosti a délkové změny výpalem	62
5.1.4 Náchylnost ke tvorbě výkvětů	69
5.1.5 Vzlínavost	74
5.1.6 Stanovení mrazuvzdornosti	77
5.1.6.1 Mrazuvzdornost stanovená přímo	77
5.1.6.2 Stanovení mrazuvzdornosti pomocí KNS	83
5.1.7 Pevnost v tahu za ohybu	85
5.1.8 Pevnost v tlaku	88
5.2 Zkoušení vlastností cihlářských zemin	91
5.2.1 Rentgenová difrakční analýza (RTG)	91
5.2.2 Diferenčně termická analýza (DTA)	92
5.2.3 Kontrakčně dilatační termická analýza (KDTA)	96
6. Diskuse o výsledcích	98
7. Závěr	107
Seznam použitých zdrojů	110
Literatura	110
Internetové zdroje	110
Normy	112
Seznam obrázků	113
Seznam tabulek	114
Seznam grafů	115

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. Úvod

Hlína patří mezi nejstarší a nejpoužívanější materiály ve světě. Poprvé se z ní stavěly stavby už 7000 let před naším letopočtem a dodnes na takovéto stavby z nepálených cihel můžeme po světě narazit. I když se jedná o velice staré objekty, tak se mohou stále chlubit svou zachovalostí. Bohužel všechno jednou končí, a i nepálené cihly byly časem nahrazeny modernějšími stavebními materiály.

Mezi její nástupce patří cihla plná pálená, která se vyznačuje vlastnostmi jako je vysoká pevnost, odolnost vůči mrazu, dobrá propustnost pro vlhkost, dlouhá životnost a estetický vzhled. Dnes bohužel tato cihla nesplňuje požadavky současné společnosti, hlavně co se týče TI vlastnosti, a tak je i ona nahrazována novými produkty, mezi které patří nejčastěji cihelné tvarovky.

V rámci této diplomové práce se shrnou požadavky na cihlu plnou pálenou v historii a současnosti a vytvoří se databáze výrobců této cihly. Cílem praktické části práce je pak zkoušení dostupných surovin z různých cihelen, co se týče vlastností vypáleného střepu či samotných cihlářských zemin. Mezi zkoušené vlastnosti patří mineralogické složení a chování zemin během výpalu. Na vypáleném střepu se určí optimální teplota výpalu pro dosažení požadovaných fyzikálně mechanických vlastností (mrazuvzdornost, vzhled) a detailně se popíše slínavost v závislosti na teplotě výpalu.

2. Cihlářská výroba

Cihly jsou pro stavební účely využívány už po tisíce let. První zmínky pocházejí z doby 7000 let př.n.l., což z nich dělá jeden z nejstarších známých stavebních materiálů. Nejstarší dochované stavby z cihel byly objeveny v jižním Turecku na místě starověkého osídlení v okolí města Jericho [10].

První cihly byly vyrobeny v oblastech s teplým podnebím a jednalo se o cihly nepálené, sušené na slunci za účelem jejich vytvrzení. Starověké egyptské cihly byly vyrobeny z hlíny smíchané se slámou, což lze dnes vidět na ruinách Harappa Buhen a Mohendžodáro. Dokonce i malby na zdech hrobky v Thébách zobrazují egyptské otroky, kteří míchají, temperují a nosí hlínu na cihly sušené na slunci [10].

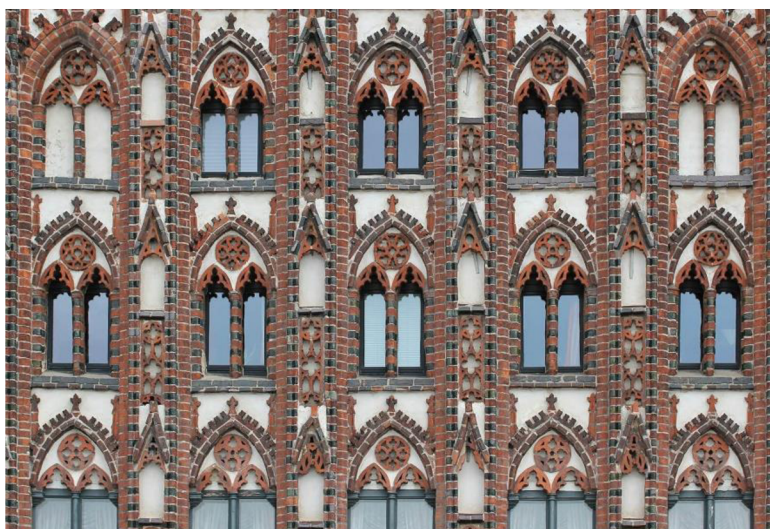


Obrázek 1 Mohendžodáro [10]

Největší průlom cihlářství nastal s vynálezem pálené cihly zhruba v roce 3500 př.n.l. a od té chvíle mohly být cihly vyráběny i bez slunečního záření a brzy se staly populární i v chladnějších podnebních. Hojně je využívali například Římané, kteří cihly vyráběli raději na jaře a poté je 2 roky skladovali, než je prodali nebo využili. K výrobě cihel používali pouze hlínu bílou a červenou a díky mobilním pecím se jim podařilo zavést pálené cihly do celé země. Jednalo se o cihly, které byly označené značkou legie, která na jejich výrobu dohlížela. Římské cihly se lišily od ostatních starověkých cihel svou velikostí a tvarem, častěji byly kulaté, čtvercové, podlouhlé, trojúhelníkové a obdélníkové [10].

Římané používali cihly pro veřejné i soukromé stavby po celé Římské říši, stavěly se z nich hradby, pevnosti, kulturní centra, klenby, oblouky a průčelí akvaduktů. Mezi příklady římských cihlových staveb patří brána Herculaneum v Pompejích a Caracalloy lázně v Římě. Během období Římské říše se cihlářské umění rozšířilo po celé Evropě a poté dominovalo i v období středověku a renesance. Když padla Římská říše, tak cihlářství pokračovalo pouze v Itálii a Byzantské říši a odtud se v 11. století rozšířilo do Francie [10].

Během 12. století se cihly opět začaly dovážet do severního Německa z Itálie a vzniklo tak cihlové období gotiky s budovami převážně z pálených cihel z červené hlíny. Příklady staveb ve stylu cihlové gotiky lze nalézt také v pobaltských zemích jako je Švédsko, Dánsko, Polsko atd. Toto období postrádá figurální architektonické plastiky, které se dříve tesaly z kamene, protože bylo nemožné je vytvořit z cihel. Z toho důvodu se začaly používat štípané cihly různých barev, červené cihly, glazované cihly a bílé vápenné omítky. Nakonec se zavedly i na zakázku vyrobené a tvarované cihly, které mohly napodobovat architektonické sochy. V 16. století tak byla cihlová gotika nahrazena cihlovou renesanční architekturou [10].



Obrázek 2 Fasáda historické cihlové gotické stavby [10]

Ve středověku hlínu na výrobu cihel často hnětli dělníci bosýma nohama a poté cihly tvarovali zatlačováním do dřevěného rámu položeného na stole, který byl pokryt pískem nebo slámou, aby se hlína nelepila. Po setření přebytečné hlíny tyčí se cihla vyjmula z rámu [10].

V Anglii se budovy stavěly z cihel již za Jindřicha VIII., ale největšího rozmachu cihlářství dosáhlo po velkém požáru Londýna v roce 1666, kdy bylo město přestavěno převážně z cihel [10].

Nepálená cihla, což je sušená cihla vyrobená z hlíny a slámy, se po staletí vyráběla i ve střední Americe, zejména v Mexiku. Některé stavby z aztéckých nepálených cihel stále existují, příkladem je Pyramida Slunce postavená v 15. století [10].



Obrázek 3 Pyramida Slunce v Mexiku [10]

Cihly překročily Atlantik s holandskými a britskými přistěhovalci, mezi kterými bylo i několik zedníků. Ve Virginii se zděné stavby stavěly již v roce 1611 a v té době bylo běžné, aby zedníci vyráběli cihly přímo na staveništi. Dokonce byly cihly z Virginie přepravovány na Bermudy v roce 1621 a vyměňovány za potraviny a ropu. Mnoho raných amerických mrakodrapů je obloženo cihlami nebo terakotou. Stavba Empire State Building si vyžádala kolem 10 milionů cihel [10].

V období renesance a baroka se rezné zdivo stávalo čím dál méně populární, a proto se začalo omítat. Teprve v polovině 18. století začaly být cihlové zdi opět populární. Cihly se vyráběly ručně asi do roku 1885. Jakmile vypukla průmyslová revoluce, tak se zavedly cihlářské stroje a v důsledku toho se značně zvýšila kapacita výroby. Ruční výroba dosahovala zhruba 36 000 cihel týdně a v roce 1925 vyrobil cihlářský stroj 12 000 cihel denně, tedy se výrobní kapacita více než zdvojnásobila [10].

Protože se stavby z cihel mohly postavit mnohem rychleji a levněji, tak cihly nahradily jiné suroviny jako je např. kámen. Během stavebního boomu v 19. století, kdy se ročně vyrábělo více než 10 miliard cihel, upřednostňovala velká americká města jako Boston a New York cihly vyráběné přímo na místě [10].

Ve viktoriánském Londýně byly kvůli husté mlze vybrány jasně červené cihly, které tak učinily budovy mnohem viditelnější. Přestože se při výrobě cihel snížilo množství červeného pigmentu, tak červená barva cihel zůstala nejžádanější až do dnes. Použili jej i někteří nejznámější architekti 20. století jako Le Corbusier, F. L. Wright a Louis Khan [10].

Dnes patří cihly společně se dřevem k běžně používaným stavebním materiálům a v důsledku toho je cihelná a terakotová architektura dominantní ve svém oboru s velkým rozvojem v cihlářském průmyslu [10].



Obrázek 4 Starý státní dům v Bostonu [10]

2.1 Suroviny

Cihlářské zeminy (ČSN 72 1654) jsou zplodiny přírodního rozkladu hornin a můžeme je rozdělit na kvartérní (spraše a sprašové hlíny), terciární nezpevněné (jíly a slíny) nebo zpevněné (jílovce a slínovce). Jíl je jedním z nejrozšířenějších přírodních minerálních materiálů na Zemi. Pro výrobu cihel musí mít hlína některé specifické složení a vlastnosti. Takové jíly musí mít plasticitu, která umožňuje jejich tvarování po smíchání s vodou. Musí mít dostatečnou pevnost za mokra a za sucha na vzduchu, aby si poté zachovaly svůj tvar formování. Rovněž při vystavení vhodné teplotě se částice jílu musí spojit dohromady. Co se týče jílových minerálů, tak cihlářské zeminy obsahují převážně illit a z jiných nerostů je to vápenec a křemen. Přítomnost oxidů ovlivňuje vlastnosti suroviny, např. Fe_2O_3 barví střep do červena. Zrnitost suroviny předurčuje její vlastnosti. Mezi škodlivé příměsi cihlářských surovin patří vápencové kongrece (cicvár) – snižují pevnost a jsou příčinou povrchových vad výrobku. Dále to jsou rozpustné sloučeniny způsobující výkvěty, hrubá zrna křemene, sádrovce nebo pyritu. Fluor je škodlivý ve spalinách. Větší přítomnost vápence zvyšuje tepelnou spotřebu při výpalu a barví střep žlutě [1][2][11].

Odhalit strukturu jílových minerálů umožnil až rastrovací elektronový mikroskop. K určení těchto nerostů se používají metody: Rentgenová difrakce (RTGd) u které se využívá difrakce rentgenových paprsků na rovinách krystalové mřížky. Termografické rozborů DTA – podle termografické křivky lze určit daný minerál a GTA – odhad množství minerálu podle úbytku hmotnosti. Dilatačně kontrakční tepelná analýza (DKTA) – přítomnost nerostů se určuje podle tvaru křivky [1][2].

Přísady se přidávají v určitém poměru pro úpravu vlastností cihlářské suroviny. Hodně se využívají odpadní látky. Přísady se podle svých účinku dělí na plastifikační přísady, ostřiva a lehčiva [1][2].

Plastifikační přísady kladně ovlivňují vaznost těsta. Z odpadů se může použít létavý popílek o velikosti zrn do 50 μm , který zároveň může plnit funkci lehčiva, protože má výhřevnost až 3 $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Mohou to být i filtrační kaly (převážně znehodnocené bentonity) [1][2].

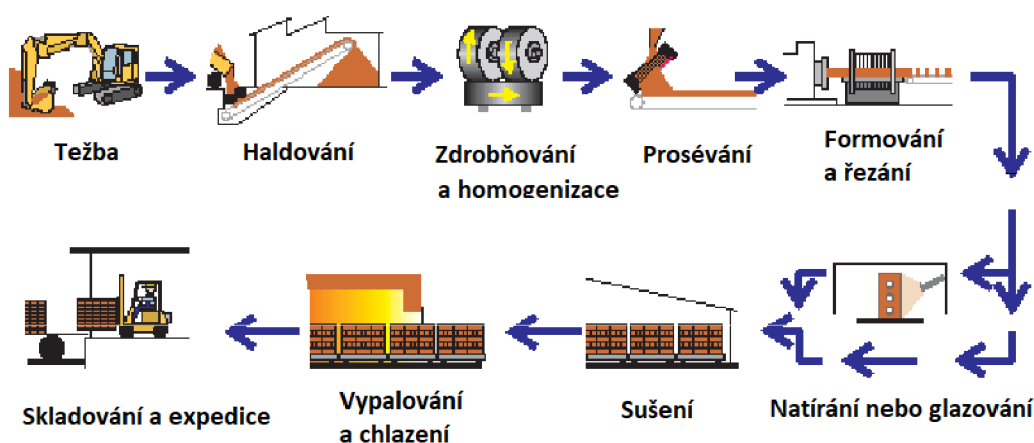
Ostřivo nemůže s vodou vytvořit plastické keramické těsto, zmenšuje citlivost k sušení a smrštění během sušení, snižuje tvorbu textury při tažení na šnekovém lisu. Při výpalu má vliv na teploty slinutí a deformace, zmenšuje smrštění. Jako ostřivo se používá přírodní písek a odpady zároveň působící i jako lehčiva – škvára, uhelný prach, briketová drť, struska aj. Ze strusky a popílku zůstávají ve střepu těžké kovy (Cr, V, Zn). Ostřivo ovlivňuje kvalitu střepu velikostí a tvarem zrn, zastoupením ve výrobní směsi a reakční schopností [1][2].

Lehčiva jsou látky používající se ke snížení objemové hmotnosti střepu. Lehčiva mohou působit nepřímo díky své malé objemové hmotnosti (křemelina, expandovaný perlit aj.) – zároveň i ostřivo. Nebo působí přímo – při výpalu vyhoří a vytvoří tak ve střepu póry (dřevěné piliny, korková drť, pěnový polystyrén aj.). Z některých lehčiv se ve spalinách uvolňují toxické látky, které se zcela nespálí a musí se proto dodatečně spalovat (např. kuličky polystyrénu). Nejvíce používané jsou dřevěné piliny do 1 mm, prosévají se a elektromagnetem se z nich odstraní případné kovy. Účinnost lehčiva je ovlivněná jeho sypanou a objemovou hmotností a obsahem nespalitelných zbytků. Při lehčení vyhoříváním organických látek se můžou ve střepu tvořit černá jádra, případně může dojít při výpalu k nadýmání výrobku. Rozhodující je difúze kyslíku do střepu a spalin ze střepu. Ta musí být ukončena před uzavíráním kapilár na povrchu výrobku, aby se plyny ve střepu nehromadily. K dokonalému vyhořívání je zapotřebí oxidační prostředí s teplotami mezi 500–800 °C, vhodná granulometrie ostřiva a mineralogie jílových nerostů (illitické suroviny jsou vhodnější) [1][2].

2.2 Výrobní postup

Postup výroby cihel se během historie moc nezměnil, avšak pokrok v technologii a podstatné zefektivnění současných cihelen zvýšilo celkovou kvalitu cihel. Podrobnější znalost surovin a jejich vlastností, lepší kontrola výpalu, vylepšená pec a pokročilejší mechanizace přispěly k pokroku cihlářského průmyslu. Přestože jsou základní principy výroby dosti jednotné, tak spousta výrobních závodů si je přizpůsobila tak, aby vyhovovaly jejich konkrétním surovinám a provozu. Cihly se v podstatě vyrábějí smícháním hlíny s vodou, tvarováním do požadovaného tvaru, sušením a vypalováním. V dávných dobách bylo veškeré formování prováděno ručně, ale od 19. století se provádí pomocí strojů [5][6][11].

Výrobní proces se skládá z jednotlivých procesů viz Obr. 5.



Obrázek 5 Schéma výroby cihel [11]

2.2.1 Těžba a haldování

Povrchové jíly, břidlice a některé šamotové jíly se těží v povrchových jámách korečkovými, kolesovými nebo lopatovými rypadly. Poté se zemina dopravuje na haldy k odležení kolejovými vozíky, pásovými dopravníky nebo nákladními auty. Na haldách dochází navíc k odležení a částečné homogenizaci a vytvoření dostatečné zásoby pro výrobu bez ohledu na počasí. Obvykle se využívá několik úložných prostor (jeden pro každou surovinu) k usnadnění míchání jílu. Mícháním vznikají jednotnější suroviny, to napomáhá kontrolovat barvu a umožňuje kontrolu surovin pro výrobu cihel [5][6][11].

Pro rozbití velkých hliněných hrudek a kamenů se materiál zpracovává na strojích na zmenšování velikosti před smícháním. Obvykle se jedná o nakloněná vibrační síta, která kontrolují velikost částic [5][6][11].



Obrázek 6 Mletí a doprava zeminy na haldy [11]

2.2.2 Homogenizace

Proces homogenizace je důležitý ve všech stupních přípravy keramické hmoty. Probíhá při těžení, zdrobňování a míšení, dochází při něm k rovnoměrnému rozdělení všech částic v surovině. Výsledkem je minimální odchylka vlastností vzorků, které byly odebrány z různých částí objemu suroviny [1][3].

2.2.3 Tvarování

Prvním krokem je kalení, kdy se v procesu tváření vytváří homogenní plastická jílová hmota. Obvykle se toho docílí přidáním vody do hlíny v mísící komoře s jednou nebo více otočnými lopatkami. Po vytlačení je plastická jílová hmota připravena k formování. Zde probíhají tři základní procesy tvarování cihel – vytlačování, lisování a suché lisování [5][6][11].

Při vytlačování se voda v množství 10-15 % hmotnosti vmíchá do hlíny, aby se vytvořilo plastické těsto. Po vytlačení prochází hlína vzduchovou komorou, která udržuje vakuum a dochází k odvodu vzdušnosti. Během odvodu vzdušnosti jsou odstraněny vzduchové bubliny, dochází ke zvýšení zpracovatelnosti a plasticity jílu, a to má za následek větší pevnost. Dále se hlína vytlačuje skrz matrici, aby se vytvořil sloupec hlíny, ten se poté může opatřit texturou nebo povrchovým nátěrem. Automatická řezačka pak hliněný sloupec nařeže a vytvoří individuální cihly. Během řezání je nutno brát v potaz normální smrštění, ke kterému dochází během sušení a vypalování, aby byl zajištěn požadovaný rozměr [5][6][11].

Lisování je vhodné zejména pro jíly, které obsahují velké množství vody a dochází k jeho vytlačení během lisování. Jíly se mísí tak, aby obsahovaly 20 až 30 % vody a poté se ve formách zformovaly do cihel. Aby bylo zabráněno lepení hlíny, jsou formy vymazány buďto pískem nebo vodou. Cihla může být takto vyráběna strojově, ale i ručně [5][6][11].

Proces suchého lisování se hodí zejména pro jíly s velmi nízkou plasticitou. Jíl se smíchá s minimálním množstvím vody (do 10 %) a poté se lisuje do ocelových forem pod tlakem od 3,4 do 10,3 MPa hydraulickým nebo stlačeným vzduchem [5][6][11].

2.2.4 Sušení

Vlhké cihly po tvarování či řezání obvykle obsahují 7 až 30 % vlhkosti v závislosti na tvarovací metodě. Před samotným výpalem se většina této vody vysuší během sušení v sušících komorách při teplotě 38 °C až 204 °C. Doba sušení je rozdílná podle druhu sušárny a také podle druhu jílu, ale obvykle se pohybuje mezi 24 až 48 hodinami. Teplo potřebné pro sušení může být generováno přímo pro sušící zařízení, ale většinou se využívá odpadní teplo z pecí, aby se dosáhlo maximalizace tepelné účinnosti. Ve všech případech musí být teplo a vlhkost regulována, aby se zabránilo praskání cihel [5][6][11].

2.2.5 Vypalování a chlazení

Před výpalem se cihly naskládají na pecní vozík a jejich počet závisí na velikosti pece. Cihly se ukládají většinou strojově nebo mechanickými prostředky. Pokud jsou cihly umístěny čelem k sobě, tak budou mít jednotnější barvu než cihly, které jsou ukládány křížem nebo umístěné lícem k čelu [5][6][11].



Obrázek 7 Cihly v peci [11]

Samotný výpal cihel probíhá 10 až 40 hodin v závislosti na typu pece a dalších faktorech. Nejpoužívanější je tunelová pec a jako druhá periodická pec, které jsou poháněné zemním plynem, uhlím, pilinami a metanem ze skládky či jejich kombinací. V tunelové peci se cihly nakládají na vozy, které při průchodu pecí procházejí různými teplotními zónami, jejichž teploty jsou pečlivě kontrolovány. Tunelová pec má nepřetržitý provoz. Periodická pec naproti tomu, jak už název napovídá, pracuje periodicky. Nejprve se zaplní cihlami, ty se poté vypálí, nechají vychladnout a vyloží a pak se stejné kroky opakují. Sušené cihly se v periodických pecích umísťují podle předepsaného vzoru, který umožňuje cirkulaci horkých pecních plynů [5][6][11].

Výpal se dělí na pět fází – konečné sušení (odpaření volné vody), dehydratace, oxidace, vitrifikace a redukční výpal. Všechny fáze kromě redukčního výpalu jsou spojeny se zvyšující se teplotou v peci. Tyto teploty se však budou lišit podle toho, zda se jedná o jíl nebo břidlici. Konečné sušení probíhá při teplotách do 204 °C, dehydratace mezi teplotami 149 °C a 982 °C, oxidace mezi 538 °C až 982 °C a vitrifikace od 871 °C do 1316 °C [5][6][11].

Jíl na rozdíl od kovu měkne pomalu a jeho tavení nebo zeskelnění probíhá postupně vystavením rostoucím teplotám. Tavení probíhá ve třech fázích:

- počínající fáze – částice jílu dostatečně změknou, aby se spojily do hmoty při chlazení,
- vitrifikace – dochází k rozsáhlému tavení a hmota se stává tvrdou, pevnou a nenasákavou,
- viskózní fáze – hliněná hmota se rozpadne a roztaví, čímž dojde k deformaci tvaru [5][6][11].

Klíčové je při výpalu řídit teplotu tak, aby došlo k počínajícímu roztavení a zeskelnění, ale aby se zamezilo viskózní fází. Rychlost změny teploty musí být pečlivě kontrolována a závisí také na vstupních surovinách a velikosti a barvě výsledného produktu. Pece jsou proto často vybaveny teplotními čidly, které slouží k řízení teploty vypalování v různých fázích [5][6][11].

Po dosažení maximální teploty a jejím udržování po předepsanou dobu začíná proces chlazení. Doba chlazení trvá většinou maximálně 10 hodin u tunelových pecí a 5 až 24 hodin u pecí periodických. Chlazení je při výrobě cihel velice důležité, protože rychlost ochlazování má přímý vliv na barvu [5][6][11].

2.2.6 Balení, skladování a expedice

Po vychladnutí se cihly vyloží, třídí a balí. Poté se umístí do skladu nebo naloží na železniční vagóny či kamiony k dodání. Většina cihel se dnes balí do samostatných páskovaných kostek, které lze rozložit na jednotlivé balíčky pro snadnou manipulaci na staveništi. Balíčky a kostky jsou navrženy tak, aby poskytovaly otvory pro manipulaci vysokozdvíhacími vozíky [11].

2.2.7 Ekologický dopad

Výroba cihel patří k nejefektivnějším způsobům výroby produktu, co se týče využití vstupních surovin. Při výrobě cihel se využívá snadno dostupných surovin, včetně některých odpadních materiálů. Primární složka, jíl, byla označena za nevyčerpatelný zdroj, a tedy není riziko, že by se spotřeboval. Mezi používané odpadní materiály patří popílky z uhelnatých generátorů a odpadní keramika a například piliny jako palivo používané při výpalu. Zpracovaná hlína a břidlice, které se odstraní během procesu tváření, se vrací zpět do produkce. Cihly, které nesplňují normové požadavky, po vypálení jsou vyřazeny z procesu, rozemlety a dále využity (např. jako plnivo do betonu). Prakticky tedy nedochází při výrobě cihel k plýtvání surovin. Dokonce i použitá voda se hromadí v nádržích na recirkulaci a opětovné využití, tím se snižuje spotřeba vody z vodovodního řádu [5][6][11].

2.3 Sortiment cihlářských výrobků pro zdění

Tvoří největší objem výroby stavební keramiky. Využití – zdicí prvky, krytina šikmých střech a prvky na horizontální konstrukce. Charakteristická je pro ně vysoká nasákavost nad 12 % (mimo hutných lícových cihel), pevnost v tlaku je od 3 do 60 MPa a objemová hmotnost je v rozmezí od 800 do 2000 kg.m⁻³. Tvarují se z plastického těsta s vlhkostí až 25 %, výpal probíhá zpravidla při teplotě 930 až 1050 °C. Výrobky neničí životní prostředí, při jejich výrobě se spotřebovává mnoho průmyslových odpadů a dají se recyklovat [1][8].

Podle použití se cihlářské výrobky dělí na: zdicí prvky (cihly plné, děrované a duté tvárnice), pálená krytina, tvarovky pro horizontální konstrukce a ostatní (komínovky, trativodky, dlažba, obkladové pásy). Tvarovky spojované betonem a ocelovou výztuží tvoří keramické dílce (např. keramické překlady) [1][3][8].

Zdicí prvky se dělí podle jejich umístění v konstrukci stavby na obvodové zdivo, nosné, nenosné a rezné zdivo. Cihly a tvárnice mají různé rozměry, musí však vyhovovat koordinačnímu rozměru 300 x 150 x 75 mm [1][3][8].

Plná cihla (ČSN 72 2610) – český formát má rozměry 290 (-7; +3) x 140 (-4; +2) x 65 (-4; +2), německý formát pak 240 x 115 x 71 mm. Průměrná pevnost v tlaku je 6-25 MPa, v tahu ohybem 1–3,2 MPa, objemová hmotnost 1600–1900 kg.m⁻³. Mohou být vylehčeny otvory do 15 % průřezu. Minimální nasákavost je 10 %. Cihly s pevností 10 MPa nemusí být mrazuvzdorné nebo stačí mrazuvzdornost M15, ale s pevností 25 MPa musí mít mrazuvzdornost M25 [1][3][8].

Tvárnice pro obvodové zdi jsou děrovány z 51 %. Výšku mají 238 mm na tloušťku zdiva (bez omítek) 440, 400 a 365 mm s délkou 250 mm. Tolerance rozměrů – nad 300 mm (-10 +5) do 300 jako u cihel plných. Vyrábí se i tvarovky vyhovující libovolným rozměrům stěny. Pevnost v tlaku je 8–10 MPa, objemová hmotnost 800–900 kg.m⁻³. Důležitý je způsob děrování. Otvory by měly být dlouhé, úzké vzájemně přesazené, kolmo orientované k průchodu tepla ve stěně (větší počet kolmých otvorů – větší tepelný odpor). Vylehčování a děrování střepu zmenšuje jeho pevnost [1][3][8].

Tvárnice pro nosné zdivo – děrované s objemovou hmotností 850–1450 kg.m⁻³ a pevností v tlaku v rozmezí 10–25 MPa. Výška 238 mm s rozměry základny 300 x 250, 240 x 375 a 175 x 375 mm. Mrazuvzdornost není předepsána (zkoušena do M15) [1][3][8].

Duté tvárnice pro příčky, výplňové zdivo a ploty. Příčkovky mají asi 45 % děrování, objemovou hmotnost 1000 kg. m⁻³ a pevnost v tlaku 8–10 MPa. Vyrábí se i typy dutých cihel se dvěma otvory běžného formátu, případně dvojnásobného formátu se čtyřmi otvory a různé varianty plotovek s rozměry 200 x 200 x 113 mm [1][3][8].

Cihlářské výrobky pro režné zdivo (ČSN 72 2623). Jedná se o plné (vylehčené otvory do 15 %) a příčně děrované (vylehčení pomocí otvorů je 25–50 %) cihly. Jejich pevnost se pohybuje v rozmezí 10–40 MPa, mrazuvzdornost při využití v exteriéru musí splňovat M25 a M50 cyklů. Neměly by mít výkvěty a cicváry. Lícni plochy se různě upravují [1][3][8].

Klinker je nejvýhodnější pro režné zdivo fasády nebo dlažbu. Rozměry odpovídají rozměrům plné cihly obou formátů, mají vhodně zkosené hrany a zaoblené rohy pro římsy. Mrazuvzdornost je M50 cyklů, nasákavost maximálně 6–8 %, pevnost v tlaku víc než 60 MPa, pevnost v tahu ohybem minimálně 6 MPa a objemová hmotnost se pohybuje od 1800–2200 kg.m⁻³. Nevyhovující na režném zdivu a krytině jsou výkvěty vzniklé buď přítomností rozpustných solí, vlhkostí a pórovitostí střepeu nebo difúzí Ca(OH)₂ z malty. Výkvěty se dají odstranit omytím, okartáčováním, očištěním a hydrofobizací povrchu, a po určité době vlivem dešťů zmizí. Dají se odstranit i technologicky [1][3][8].

Pálené cihlářské prvky pro vodorovné konstrukce (ČSN 72 2602). Patří sem cihelné stropní desky (např. HURDIS), stropní vložky pro skládané stropy (např. typu MIAKO) a prvky pro prefabrikované keramické překlady a nosníky. Keramické tvarovky jsou duté a tenkostěnné (v jisté míře spolupůsobí s betonem) a musí mít pevnost v tlaku alespoň 12–33 MPa. Stropní vložky mají únosnost 4–6 kN, občas se u nich vyžaduje i mrazuvzdornost. Desky HURDIS mají délku 580–5; +4 mm až 1180–9; +9 mm, šířku 250–9; +3 mm a výšku 80–2; +3 mm a zkosení 60 °. Hmotnost desek závisí na rozměru a bývá 10 až 20 kg. Rozměry stropní vložky MIAKO jsou: délka 250 mm, šířka 525 a 400 mm, výška 150, 190 a 230 mm, výška ozubí je 65 mm. Vložka musí mít únosnost minimálně 2,3 kN a pevnost v tlaku 12 MPa [1][3][8].

Z tvarovek tvaru U 160 x 60 mm a délky 250 mm se vložením ocelové výztuže a zabetonováním betonem C 25/30 vyrábí keramické nosníky délky 1750 až 8250 mm. Podobný postup výroby mají i překlady – z pálených keramických tvarovek tvaru U šířky 115–145 mm, výšky 71 mm a s délkou 750–3000 mm [1][3][8].

Pálená krytina (ČSN EN 1304) je vyráběna tažením na vakuovém šnekovém lisu. Jedná se většinou o bobrovky, které mají různé zakončení s rozměry 380 x 180 mm nebo věžní bobrovky 285 x 142 mm. Další skupinu tvoří tašky, které se vyrábějí ražením a na rozdíl od bobrovek mají dvě drážky podélné i příčné. Mohou mít různé tvary délky 290–390 mm, šířky 200–230 mm, hmotnost je 2,7–3,7 kg [1][3][8].

Mezi doplňkové tašky patří prejzy, hřebenáče, pravé a levé krajové tašky, větrací a další podle potřebné funkce. Požadavky na pálenou krytinu jsou – nejméně 25 zmrazovacích cyklů, stejná barva s předepsanou neprosákavostí, minimální únosnost 500 N u bobrovky a 500–1500 N u ražené tašky. Nesmí obsahovat cicváry [1][3][8].

Cihlářské výrobky pro zvláštní účely se vyrábějí v malém množství a patří mezi ně trativodky, komínovky a obkladové prvky (stájovky, půdovky aj.). Trativodky – světlost 50 ± 3 mm – 200 ± 10 mm, délka 333 ± 10 mm, mrazuvzdornost 15 cyklů, únosnost 2500–3500 N. Mezi starší typ patří komínovky využívané pro vyzdívání továrních komínů s kruhovým průřezem. Jsou to děrované cihly s délkou 150 ± 2 až 300 ± 6 mm, tloušťkou 90 ± 2 mm a délkou oblouku líce 160 ± 3 mm. Nasákavost mají 10–20 %, pevnost v tlaku 20–35 MPa a mrazuvzdornost 25 cyklů. Stájové dlaždice mají dutiny a šikmé drážky na lícním povrchu, rozměry 290 x 140/215 mm s tloušťkou 65 mm. Pevnost v tlaku je 8–10 MPa, minimální nasákavost 10 %. Půdovky vylehčené plošnými štěrbinami mají rozměry 200 x 200 x 30 mm [1][3][8].

2.4 Cihla plná pálená

Dříve patřily cihly plné pálené mezi nejvyužívanější stavební materiál, jehož základem je kvalitní cihlářská hlína. V dnešní době se stále jedná o stejný výrobek jako před 7000 lety s rozměry 290 x 140 x 65 mm. Pro stále se zvyšující nároky na tepelnou izolaci a další vlastnosti se však dnes cihla plná pálená už nepoužívá pro stavbu obvodových zdí. Aby byly splněny požadavky aktuálních norem, musela by být obvodová zeď tlustší, než je dnes zvykem. Používají se proto hlavně pro stavbu nosných, příčkových nebo výplňových zdí a také kvůli jejich unikátnímu vzhledu pro dekorativní účely. Mezi jejich výhody patří vysoká pevnost, dostatečná zvuková izolace a akumulární schopnosti. Nevýhodami pak je nedostačující tepelná izolace, vyšší hmotnost, cena, spotřeba malty a větší nároky na řemeslnou zručnost [1][4][12].

2.4.1 Legislativní požadavky na vlastnosti

Jak už bylo řečeno, tak je cihla plná pálená stejným výrobkem, jako když se poprvé začala využívat, avšak požadavky na její vlastnosti s vývojem cihlářství a společnosti stále rostou. Mezi úplně první požadavky na vlastnosti cihel plných pálených patří požadavky na jejich rozměry. V roce 1686 Leopold I. stanovil rozměry cihly plné pálené 11,5 x 5,25 x 2,75 palců jako jednotný formát. Tento formát byl platný až do roku 1883, kdy se výrobci shodli na novém formátu 290 x 140 x 65 mm, který platí dodnes [7][8][13].

Jelikož každý výrobce používal k výrobě cihel trochu jiný technologický postup a surovinový základ, tak měly cihly velmi často různé vlastnosti, které nebyly vždy zcela adekvátní. Z toho důvodu bylo nutné stanovit i jednotný seznam požadavků na jejich vlastnosti, aby bylo dosaženo požadované kvality výrobků. Mezi tyto vlastnosti patřila hlavně pevnost v tlaku a ohybu, nasákavost, mrazuvzdornost a objemová hmotnost [1][8].

První norma u nás, která předepisovala požadavky na vlastnosti cihel plných pálených, byla norma ČSN 72 2610, která byla postupně modernizovaná až do roku 1989 a platila až do roku 2006. V rámci této normy byla stanovena požadovaná průměrná pevnost v tlaku na 6–25 MPa a průměrná pevnost v ohybu 1,0–3,2 MPa. Mezi další požadavky patřilo maximální množství vylehčení a bylo stanoveno na 15 % průřezu. Dále pak objemová hmotnost cihel se musela pohybovat v rozmezí od 1600 kg.m⁻³ do 1900 kg.m⁻³ a minimální nasákavost byla určena na 10 %. Co se týče mrazuvzdornosti, tak cihly s pevností P6–8 nemusely být mrazuvzdorné, cihly s pevností P10–20 nemusely být mrazuvzdorné, anebo alespoň mrazuvzdorné po dobu 10 ti zmrazovacích cyklů. U cihel s pevností 25 MPa byla požadovaná mrazuvzdornost stanovena na minimálně 25 zmrazovacích cyklů. Co se týče trhlinek, tak byly připouštěny, pokud jejich zapříčiněním nedocházelo ke snižování pevnosti cihel [1][8].

V roce 2006 nahradila normu ČSN 72 2610 univerzální evropská norma s označením EN 771-1, která spojila všechny platné české normy na pálené zdící prvky a vytvořila tak jednotný předpis požadavků. V rámci této normy byly pálené zdící prvky rozděleny do dvou skupin, a to na prvky LD a HD. Mezi prvky LD patřily zdící prvky s objemovou hmotností v suchém stavu do 1600 kg.m^{-3} , které byly určeny pro použití v chráněném zdivu a prvky HD byly prvky s objemovou hmotností v suchém stavu do 1000 kg.m^{-3} určeny pro použití v nechráněném zdivu. Mrazuvzdornost se musela deklarovat pouze tehdy, pokud cihly nebyly zcela chráněny před pronikáním vody, stejně tak i nasákavost závisela na druhu použitých prvků. Tepelně technické požadavky se uváděly s odkazem na EN 1745 a pouze tehdy, pokud byly vyžadovány. Požadovaná pevnost v tlaku byla P2-40 a pevnost v ohybu nebyla stanovena. Dále se stanovovala škodlivost cicvárů, které nesměly snižovat pevnost v tlaku o více než 15 % [4][8].

Norma EN 771-1 byla postupně modernizována a v roce 2017 začala platit norma ČSN EN 771-1+A1 Specifikace zdících prvků – Část 1: Pálené zdící prvky. Tato norma už nadále nerozděluje pálené zdící prvky na LD a HD, ale na P a U. Prvky P jsou zdící prvky pro použití v chráněném zdivu a U jsou určeny k použití v nechráněném zdivu. Mezi požadavky na tyto zdící prvky patří požadavky na rozměry. Deklarované rozměry pro cihlu plnou CP jsou $290 \times 140 \times 65 \text{ mm}$ s povolenou tolerancí pro výrobce T1 ($\pm 0,40 \cdot \sqrt{\text{výrobní rozměr}}$ v mm nebo 3 mm – uvažuje se větší hodnota). Dále pak požadavky na objemovou hmotnost a pevnost v tlaku. Důležitý je požadavek na vzhled cihel, který je rozděluje do tříd podle různých barev vznikajících při výpalu. Za další jsou požadavky na mezní hodnoty obsahu solí (kvůli výkvětovosti), které jsou rozděleny do kategorií S0 – S2 viz. Tabulka 1. Požadavky na mrazuvzdornost závisí na druhu použitých zdících prvků a stanovují se na 15-25 (F0 a F1), nebo 50 (F2ú zmrazovacích cyklů, viz Tabulka 2 [8][27] .

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

Tabulka 1 Kategorie obsahu aktivních rozpustných solí [27]

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

Tabulka 2 Kategorie mrazuvzdornosti pálených prvků [27]

2.4.2 Cihlářské závody

Až do poloviny 19. století mohly fungovat většinou jen tzv. „panské cihelny“. Mohli je mít jen bohatí lidé, kteří si mohli zaplatit povolení k jejich provozu. Po vydání nového obecního zřízení se mohlo cihlářství stát volnou živností a cihly mohl v podstatě vyrábět kdokoli. Projevilo se to však velkými rozdíly ve vybavení, technologii i kvalitě cihlářských výrobků [8][14].

Mezi nejjednodušší typy cihelen patřila příležitostně otevřená hlinišťe, která majitel pozemku pronajal cihláři. Ten spolu s několika pomocníky nakopal hlínu, postavil jednoduchou pec, vyrobil formy, postavil dřevěné přístřešky k sušení cihel a zahájil výrobu. Výroba většinou pokryla poptávku po cihlách v dané lokalitě. Tyto cihly nebyly často značkovány, pokud ano, značky tvořily převážně iniciály majitelů nebo čísla. Cihly z těchto malých cihelen nebyly většinou moc kvalitní a kupovali si je zpravidla méně majetní lidé, pro které i tyto málo kvalitní výrobky byly pokrokem ve srovnání s tzv. kotovicemi z nepálené hlíny s příměsí slámy nebo plev [8][14].

Na lepší úrovni byly větší podnikatelské cihelny nebo postupně modernizované panské cihelny, které měly i mnohem lepší, graficky zajímavé a pečlivé kolkování cihel. Ve větších cihelnách se můžeme setkat s tzv. kontinuálním výpalem pomocí Hoffmannovy kruhové pece. V tomto případě mluvíme už o strojové výrobě. Cihly jsou dokonale tvarované, většinou však bez značení. Technologický vývoj pokračuje, stroje nahrazují většinu ruční práce ve všech fázích výroby od těžby, přes lisování a formování až po teplovzdušný sušení cihel a velmi produktivní kruhové pece. Výsledkem je mnohonásobné zvýšení objemu výroby a zařazení cihly mezi nejpoužívanější stavební materiál u nás [8][14].

Jelikož cihla plná pálená už v současnosti nepatří mezi tak hojně využívaný stavební materiál, zúžila se i její výroba na pouhou část z původních cihelen. V současnosti její výroba probíhá u nás a na Slovensku jen v několika cihelnách [14][15].

2.4.2.1 Cihelna Vysoké Mýto

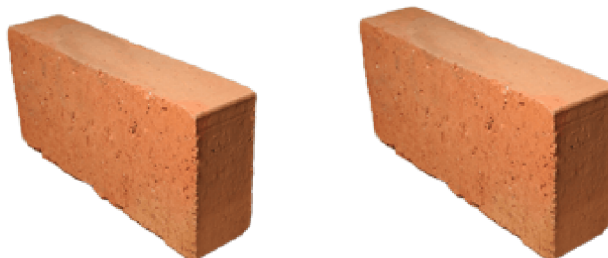
Cihelna Vysoké Mýto s.r.o. je jedním z výrobců a dodavatelů cihel pálených menšího formátu a doplňkových výrobků. Společnost se na trhu nachází již od roku 2004 a stále rozvíjí a rozšiřuje výrobní program a inovuje výrobní technologii. Výrobní závod společnosti se nachází v Pardubickém kraji na okraji města Vysoké Mýto. Výrobní sortiment zahrnuje cihlu plnou, cihlu dvouděrovanou, voštinovou a další menší formáty cihel. Od roku 2007 cihelna vyrábí plnou cihlu polského formátu a od roku 2011 do výroby přidala i ručně dělané cihlové dlažby a antuku [16].

Počátek historie Cihelny na Krétě ve Vysokém Mýtě se však datuje již k roku 1897, kdy byla společnost zapsána jako spolková cihelna. Od roku 1897 byl schválen i provoz kruhové pece a započala ruční výroba cihel. V roce 1930 proběhla rozsáhlá rekonstrukce a závod byl vybaven moderními zařízeními pro strojní výrobu a sortiment se tak rozšířil pouze z cihel plných na cihly dvou a čtyřděrované, mezistěnky, trativodky a další [16].



Obrázek 8 Historické foto sušení ve Vysokém Mýtě [16]

Cihla plná pálená s obchodním názvem CP má deklarované rozměry 290 x 140 x 65 mm, pevnost P15, P20 a hmotnost 3,9 kg. Cihly jsou určeny pro výstavbu obvodového i vnitřního nosného chráněného zdiva. Cihla plná pálená polského formátu má rozměry 250 x 120 x 65 mm, pevnost P15 a hmotnost 3 kg [8][16].



Obrázek 9 Cihla plná pálená a cihla polského formátu [16]

2.4.2.2 Cihelna v Praze, Štěrboholech

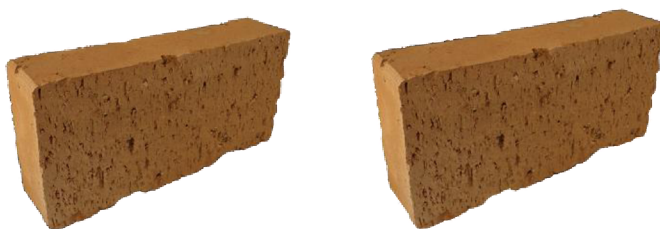
Cihelna se nachází na okraji města Praha v části Štěrboholy a jedná se o poslední funkční cihelnu v Praze. Jak sama cihelna prohlašuje, tak jejich cihly splňují označení F2, více jak 50 zmrazovacích cyklů a jsou držiteli certifikátu odolnosti proti kyselinám. Mezi jejich výrobky patří cihla plná pálená, plná německého i rakouského formátu, lehčená a také cihla voštinová, Dm a AKU. Cihelna také dále prodává nepálené cihly, jedná se o cihly plné vysušené, mokré a cihlářský jííl a speciální výrobky jako je cihla plná šancová, stájová dlažba a mrazuvzdorné cihly [17].

Historie cihelny sahá do dvacátých let minulého století a nechala ji postavit jistá paní Chiztová. Umístění cihelny bylo zvoleno s nadčasovou vizí, protože se v okolí pod nevysokou vrstvou ornice nachází hlína, které se říká illitická břidlice a je pro výrobu cihel jako stvořená. V roce 1950 byla cihelna zestátněna a až do roku 1992 byla v rukou státu, kdy byla navráćena původním majitelům, však již v nefunkčním a rozkradeném stavu. Z toho důvodu byla cihelna zbourána a na jejím místě se postavil nový cihlářský závod, který funguje dodnes [17].



Obrázek 10 Historické foto zbourané Štěrboholské cihelny [17]

Cihla plná cihelny Štěrboholy má garantované rozměry 290 x 140 x 65 mm, minimální pevnost 40 MPa (sám výrobce prohlašuje, že se jedná o nejpevnější plnou cihlu v ČR) a hmotnost 5 kg. Je vhodná pro použití pro svislé nosné konstrukce, svislé nenosné konstrukce, nosné pilíře, výtahové šachty, bytové příčky, izolační přizdívky, vinné sklípky, opěrné zdi a hřbitovní zdi. Dále pak cihla plná německého formátu s rozměry 240 x 115 x 71 mm, pevností minimálně 40 MPa a hmotností 3,5 kg. Cihla plná rakouského formátu má rozměry 250 x 120 x 65 mm, minimální pevnost 40 MPa a hmotnost 3,5 kg. Cihla plná mrazuvzdorná má deklarované stejné rozměry a hmotnost jako cihla plná, ale její garantovaná pevnost je minimálně 110 MPa [8][17].



Obrázek 11 Cihla plná pálená a cihla polského formátu [17]

2.4.2.3 Zlínská cihelna v Malenovicích

Výstavba cihelny v Malenovicích byla zahájena v roce 1937 společností Baťa a. s. Zlín a v roce 1939 byla dána do provozu. Cihelna v Malenovicích vyráběla cihly plné, duté jednocihly i dvojcihly a všechny druhy trativodek. Z cihel plných poté probíhala výstavba klasických baťovských staveb z režného zdiva. V současnosti cihelnu provozují Zlínské cihelny s. r. o. s roční kapacitou výroby 21 mil. c. j. ročně [18].

2.4.2.4 Cihelna Holešov, Žopy

Cihelna Holešov, Žopy byla založena v roce 1911 a původně vyráběla cihly plné, duté, krytinu všeho druhu, drenážní trubky a patentované stropnice Klínos. V roce 1913 se spojila s cihelnou v Holešovicích a vznikla tak cihelna s pozemky 30 ha. V současné době je stejně jako cihelna v Malenovicích v soukromém vlastnictví společnosti Zlínské cihelny s. r. o. a mají tedy stejný sortiment [18].

Mezi vyráběný sortiment patří cihla plná s rozměry 290 x 140 x 65 mm s pevností v tlaku 20 MPa a objemovou hmotností 1600 kg.m⁻³. Dále pak cihla plná lehčená s rozměry 290 x 140 x 65 mm, objemovou hmotností 1500 kg.m⁻³ a pevností v tlaku v rozmezí 10-15 MPa a cihla rakouská o rozměrech 250 x 120 x 65 mm, pevností 20 MPa a OH 1600 kg.m⁻³ [8][18].



Obrázek 12 Cihla plná pálená Zlínských cihelen [18]

2.4.2.5 Šitbořická cihelna

Cihelna Šitbořice se nachází v obci Šitbořice jihovýchodně od Brna. Jedná se o malý rodinný podnik s tradičními a osvědčenými technologickými postupy výroby. Cihelna si stojí za tím, že díky velice kvalitní hlíny bez přidání příměsí vyrábí velice odolné plné pálené cihly, které se uplatňují při stavbě nosných neomítaných zdí u vinných sklípků nebo neomítaných zdí běžných i hospodářských stavení. Cihelna dále vyrábí speciální produkty na zakázku, mezi které patří například cihelné dlaždice [19].

Přesné určení založení cihelny v Šitbořicích není možné, protože zdejší kvalitní hlína byla objevena již dávno, a tedy se zpracovávala už odnepaměti. Cihelna fungovala až do druhé světové války, kdy došlo k přerušení výroby, která byla obnovena v roce 1948, kdy byla cihelna znárodněna. Do rukou původního majitele byla navracena v roce 1990 se stávajícím vybavením z padesátých let a stále funkční pecí, která se používá až dodnes a dělá tak ze Šitbořické cihelny unikát [19].

Hlavním produktem Šitbořické cihelny jsou klasické pálené cihly velkého formátu s rozměry 290 x 140 x 65 mm, pevností v tlaku 24 MPa, hmotností 4,1 kg objemovou hmotností 1600 kg.m⁻³ a nasákavostí 15 %. Tepelný odpor zdiva je 0,73 m².K.W⁻¹ a součinitel prostupu tepla při tloušťce 140 mm je 2,87 W.m⁻².K⁻¹. Díky vysoké odolnosti vůči klimatickým vlivům a erozi se skvěle hodí k použití při stavbě nosných neomítaných zdí rezných budov. Cihelna Šitbořice se také může pochlubit výrobou lícových cihel typu klinker, kterým se také říká zvonivky a vyznačují se dlouhodobou odolností vůči vlhkosti a drsným klimatickým podmínkám a také vynikající mrazuvzdorností [19].



Obrázek 13 Cihla plná pálena (zvonivka) žlutá a červená [19]

2.4.2.6 Bratronická cihelna

Cihelna Bratronice se nachází v Bratronicích nedaleko Kladna. V současné době cihelna produkuje pálené cihly a více jak 20 let i tradiční cihelnou dlažbu – půdovku. Dále pak rozvíjí programy nepálených cihel, které se používají na půdní zdivo, izolační materiál a pro výrobu původních hlíněných omítek. S ohledem na dnešní situaci se cihelna pustila s futuristickou vizí do recyklace stavební suti a výroby dalších produktů pro stavební účely, jako je např. cihelná drť, antuka a směsné recykláty různých zrnitostí [20].

Stejně jako u cihelny Šitbořice, ani zde rok založení cihelny není znám. Jisté ale je, že již v roce 1820 byla plně funkční a až do roku 1911 byla v rukou šlechty. Během první republiky se zde začaly vyrábět i střešní tašky a v roce 1932 byla postavena nová kruhová pec. Během druhé světové války byl provoz utlumen a zcela obnoven byl až v roce 1960 [20].

Bratronická cihla plná pálená P20 má rozměry 290 x 140 x 65 mm, pevnost minimálně 20 MPa, hmotnost 1,8 kg, nasákavost 13 % a reakci na oheň A1. Cihla plná nepálená s rozměry 290 x 140 x 65 mm a hmotností 1,8 kg a cihla plná s prolisem o rozměrech 290 x 140 x 65 mm a pevností v tlaku P 20 [20].



Obrázek 14 Bratronická cihla plná pálená [20]

2.4.2.7 Cihelna v Polomi

Cihelna Polom se nachází v Olomouckém kraji a do jejího sortimentu výroby patří cihla plná, lícová odlehčená, cihla voštinová, dutinová, drenážní trubky a ruční cihelná dlažba [8][21].

Cihelna byla dle nedoložených záznamů založena v roce 1915, avšak první doložené záznamy pocházejí až z roku 1931, kdy byla ve vlastnictví obchodní společnosti "Rabel in Pohl". V roce 1949 byla znárodněna a zařazena do Moravskoslezských cihelen Hodonín, poté několikrát přešla pod jinou správu a až v roce 1992 v rámci privatizace Severomoravských cihelen se osamostatnila [21].

Cihla plná CP Polomské cihelny má předepsané rozměry 290 x 140 x 65 mm, pevnost P15-20 MPa, hmotnost 4,1 kg a objemovou hmotnost 1670 kg.m⁻³. Používá se zejména pro obvodové zdivo v kombinaci s tepelnou izolací, čímž je zajištěna celková tepelná pohoda stavby [8][21].



Obrázek 15 Cihla plná pálená z Polomi [21]

2.4.2.8 Miskolezská cihelna

Cihelna Miskolezy se nachází poblíž České Skalice a v současné době vyrábí cihly plné, plné polského formátu a cihly dutinové příčkové. Historie cihelny spadá již do 18. století a její provoz byl postupně přestavován a modernizován až do dnešní podoby. Od roku 1994 je cihelna majetkem právnického subjektu Cihelny STAMP Miskolezy s. r. o. a v logu má siluetu medvěda, za což vděčí místním pověstem o založení obce. V současné době výpal cihel probíhá v plynofikované kruhové peci a je řízen v souladu s platnými evropskými normami a IPPC [22].

Cihla plná pálená cihelny Miskolezy má garantované rozměry 290 x 140 x 65 mm, pevnost v tlaku 10-20 MPa, objemovou hmotnost 1550 kg.m⁻³ a hmotnost 4,2 kg. Dále pak cihla plná polského formátu, s rozměry 290 x 140 x 65 mm, objemovou hmotností 1640 kg.m⁻³, pevností v tlaku 10-20 MPa a hmotností 3,2 kg [8][22].



Obrázek 16 Cihla plná pálená a CP polský formát [22]

2.4.2.9 Cihelna v Pezinku

Pezinská cihelna leží v městě Pezinok na jihozápadě Slovenska. Byla založena roku 1872 a patří mezi nejstarší cihelny na Slovensku. Původní sortiment tvořily keramické kachle a ručně vyráběná cihla plná pálená. V roce 1925 byla cihelna rozšířena o poloautomatickou výrobní linku a Hoffmanovu kruhovou pec a stala se tak jednou z nejmodernějších dané doby. Od té doby se cihelna mnohokrát modernizovala a rozšiřovala a dnes vyrábí kompletní sortiment cihlářských výrobků. Jedná se o pálené zdicí materiály pro obvodové zdivo typu TermoBRIK, příčky, akustické zdivo, keramické nosníky, stropní vložky a překlady [23].

Cihla plná pálená vyráběná v Pezinské cihelně s označením PT má garantované rozměry 290 x 140 x 65 mm, hmotnost 4,1 kg, objemovou hmotnost 1600 kg.m⁻³ a pevnost v tlaku 20 MPa [8][23].



Obrázek 17 Cihla TermoBRIK TD 300 Akustik nebroušená [23]

2.4.2.10 Cihelna Myjava

Myjavská cihelna se nachází v městě Myjava v západní části Trenčínského kraje. Cihelna byla založena v roce 1895 a od té doby prošla celou řadou renovací a přestaveb, které zlepšovaly kvalitu vyrobených produktů. Od roku 1999 je součástí firmy TOVA spol. s r. o. a vyrábí hlavně pálené cihly a pórobloky s velkou pevností a výbornými tepelnými vlastnostmi. Dále také vyrábí a prodávají cihelnou drť (antuku) a ve spolupráci s partnery i kompletní keramické stropní systémy [24].

Cihla plná pálená s rozměry 290 x 140 x 65 mm, hmotností 4 kg, objemovou hmotností 1750 kg.m⁻³ a pevností v tlaku P 20 MPa. Tepelný odpor vyráběné cihly plně pálené je $R = 0,81 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ a součinitel prostupu tepla 1,23 W.m⁻².K⁻¹ [8][24].



Obrázek 18 Myjavská cihla plná pálená [24]

2.4.2.11 Ipelská cihelna

Ipelská cihelna se nachází poblíž města Lučenec. Poprvé zde začala cihlářská výroba v roce 1907 a v roce 1988 patřila společně s dalšími 11 závody pod státní správu. Od roku 1996 Ipelská cihelna patří pod akciovou společnost Ipelské cihelny a mezi jejich sortiment patří broušené a nebroušené cihly, cihly TERMO, MAX a AKA, překlady, keramické stropy a věncové tvarovky. Dále vyrábí cihlu plnou pálenou a zdící cihly BRITTERM [25].

Cihla plná pálená Ipelské cihelny s označením Antik má deklarované rozměry 250 x 120 x 55 mm, hmotnost 2,50 kg a pevnost v tlaku 29 MPa. Objemová hmotnost se pak pohybuje kolem 1500 kg.m⁻³ a garantovaná mrazuvzdornost je minimálně 100 cyklů [25].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3. Cíl práce

Cílem práce je zkoušení směsí vzorků cihel z dostupných cihelen a odhalení jejich potenciální surovinové základny a jejich vlastností, zejména slínavost. Dále pak pomocí RTG difrakční analýzy porovnat mineralogické složení a pomocí DTA chování během výpalu. Pro každou surovinovou směs se poté navrhne optimální teplota výpalu pro dosažení specifických fyzikálně mechanických parametrů, např. mrazuvzdornosti či pevnosti. V práci se nakonec zhodnotí dosažené výsledky.

4. Metodika zkoušení

V této části se navrhne metodika zkoušení lícových cihel a cihlářských zemin.

4.1 Stanovení vlastností lícových cihel

Cihla plná pálená se v dnešní době využívá zejména při rekonstrukcích nechráněného zdiva historických objektů a z toho důvodu jsou požadavky na její kvalitu obvykle velmi přísné. Mimo tradiční parametry jako jsou pevnost, mrazuvzdornost apod. se klade důraz i na kompatibilitu s původními materiály jak v barvě, tak mineralogickém složení [8].

Vlastnosti se zjišťují pomocí příslušných normových zkoušek, které se provádějí jak na cihlách nových, tak i starých, osazených v objektu. Nejprve se odebere vzorek lícových cihel se shodnými vlastnostmi jako mají ostatní cihly, který se bude posléze analyzovat. Poté se vzorek nařeže na menší díly a ty se stávají laboratorními vzorky. Během odběru vzorku a jeho následném upravování a uskladnění by nemělo dojít ke změně žádných z jeho vlastností. Po nařezání se vzorky vysuší v laboratorní sušárně na konstantní hmotnost. Následně se provede laboratorní výpal v peci s nárůstem teploty v peci 2 °C/min a při dosažení požadované teploty se vzorek vypaluje po dobu 120 minut. Na takto připravených zkušebních vzorcích se poté zjišťují požadované vlastnosti [8].

4.1.1 Posouzení vzhledu a barvy

Zjišťuje se vizuálně podle normy ČSN 72 2602 Skúšanie tehliarskych výrobkov, Zisťovanie vzhľadu a rozmerov. Mezi zkoumané parametry patří barva výrobků, dále pak jejich tvar, začouzení, povrchové nedokonalosti jako jsou trhlinky, zlomky, poškození ploch, hran a rohů [28].

Barva střepe se společně se začouzením posuzuje vizuálně. Různá zbarvení střepe jsou dána odlišnými teplotami při výpalu (viz obr. 1 a 2) a zařazují se do tříd. Začouzení se zjišťuje ve vzdálenosti 2 m od vzorku při denním světle. Z této vzdálenosti nesmí být na vzorcích patrné náznaky začouzení, a pokud jsou, tak se tato místa otřou bílým papírem. Pokud na nich zůstanou stopy sazí a dýmu, tak se vzorek považuje za začouzený [8][28].



Obrázek 19 Barvy střepe dle teploty výpalu [26]

Kolmost hran se měří od obalové přímky pomocí úhlooměru nebo úhelníku a měrného klínu. Na vzorku se odstraní všechny výčnělky, které překážejí při měření a přiložením úhlooměru nebo úhelníku k sousedním hranám se odměří odchylka od pravého úhlu. Odchylka od kolmosti se při použití úhlooměru udává v úhlových stupních a minutách zaokrouhlených na 10 °, při použití úhelníku a měrného klínu se udává v mm na určitou vztažnou délku. Výsledkem měření je největší odchylka od kolmosti, která byla na vzorku zjištěna [8][28].

Zakřivení se určuje vždy na každé ploše dvakrát ve směru obou úhlopříček. Konkávní zakřivení (prohnutí) se na ploše zjišťuje pomocí rovného kovového pravítka, které se přiloží na hrany ve směru úhlopříčky. Následně se měrným klínem odměří největší vzdálenost mezi povrchem vzorku a pravítkem. Konvexní zakřivení (vyklenutí) ploch se měří ve směru úhlopříčky pomocí přiložení kovového pravítka hranou na vrchol vyklenutí. Poté se z obou stran podkládá měrnými klíny tak, aby vzdálenost plochy od hrany pravítka byla v obou rozích stejná. Zjištěná hodnota v jednom rohu určuje velikost zakřivení a jako výsledná hodnota zakřivení se udává maximální hodnota v mm. Rovinnost hran se zjišťuje přikládáním hrany pravítka na měřenou hranu [8][28].

Poškození ploch, hran a rohů se zjišťuje přiložením ocelového pravítka na povrch vzorku. Kolmo na pravítko se přiloží měřící ocelová jehla, jejíž hrot se dotýká nejhlubšího místa poškození (odloupnutí, odštěpení, kráterek apod.) a vzdálenost spodní hrany pravítka od hrotu jehly udává hloubku poškození. Výsledkem je maximální zjištěná hodnota, a pokud to příslušná norma vyžaduje, tak i počet poškození na vzorku [8][28].

Délka trhliny se zjišťuje pomocí ocelového měřidla se zešikmenou hranou nebo pomocí posuvného měřidla. Za délku trhliny je považována nejkratší vzdálenost mezi jejím začátkem a koncem. Šířka trhliny se zjišťuje pomocí měřící lupy, udává se s přesností $\pm 0,1$ mm a za výsledek je považována největší změřená hodnota. Hloubka trhlinek, pokud to jejich šířka dovoluje, se zjišťuje pomocí měrné jehly a za výsledek je opět považována největší naměřená hodnota [28].

4.1.2 Skutečné rozměry

Skutečné rozměry se stanovují podle normy ČSN EN 772-16 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 16: Stanovení rozměrů a ČSN EN 771-1+A1 Specifikace zdících prvků – Část 1: Pálené zdící prvky.

Podstatou zkoušky je změření délky, šířky a výšky pomocí vhodného měřidla vždy na všech čtyřech plochách. Před zahájením měření je nutno z povrchu vzorků odstranit přebytečné částičky, které pocházejí z výrobního procesu. Pro každý rozměr se poté provedou dvě měření a následně se vypočte aritmetický průměr s přesností na 1 mm. Následně se provede zařazení vzorku do příslušné kvalitativní kategorie. Viz. Tabulka 3 [8][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

Tabulka 3 Kategorie mezních odchylek od jmenovitých rozměrů [27]

4.1.3 Stanovení nasákavosti, objemové hmotnosti a zdánlivé pórovitosti

Stanovují se podle ČSN 72 2603 Skúšanie tehliarskych výrobkov, Stanovenie hmotnosti, objemovej hmotnosti a nasiakavosti, ČSN EN 771-1+A1 Specifikace zdících prvků – Část 1: Pálené zdící prvky, ČSN EN 772-16 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 16: Stanovení rozměrů a zdánlivá pórovitost se stanoví dle normy ČSN 72 1565-6 Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení ztráty hmotnosti pálením, nasákavosti, zdánlivé pórovitosti a objemové hmotnosti.

Objemová hmotnost cihlářského výrobku je hmotnost jednotkového objemu vzorku, včetně jeho pórů a dutin. Zjišťuje se dvojím způsobem: měřením a vážením pravidelných těles anebo hydrostatickým vážením těles nepravidelného tvaru [30].

Objemová hmotnost pravidelných těles se stanovuje na vzorcích, které byly zváženy dle ČSN 72 2603 a změřeny podle ČSN 72 2602. Objemová hmotnost se poté 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) v m^3

Objemová hmotnost se uvádí v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ zaokrouhlená na nejbližší desítku [30].

Objemová hmotnost cihlářského střepu se zjišťuje společně se zkouškou nasákavosti na 5 stejných vzorcích. Nejprve se zváží vzorek vysušený a poté nasáknutý vodou. Posléze se vzorek zváží ve vodě. Používá se převařená pitná voda o teplotě 20 ± 2 ° C. Závěs, na kterém je vzorek upevněn je nutno vytárovat, protože se částečně nachází ve vodě. Před vážením se odstraní vzduchové bubliny, které se po ponoření na vzorku objevily a vzorek se umístí tak, aby se nedotýkal stěn anebo 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 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ zaokrouhlená na nejbližší desítku [8][30].

Nasákavost se uvádí v % hmotnosti vysušeného vzorku a slouží k posouzení schopnosti cihlářského výrobku přijímat vodu za předepsaných podmínek. Zjišťuje se na pěti vysušených a zvážených vzorcích, které jsou postaveny svou nejmenší plochou do nádoby naplněné destilovanou nebo pitnou vodou. Postaví se tak, aby se vzorky navzájem nedotýkaly a hladina vody byla alespoň 50 mm nad povrchem vzorku. Voda v nádobě se po 1 hodině uvede do varu, ve kterém se udržuje 4 hodiny a po jeho ukončení se vzorky ponechají v nádobě s vodou po dobu 16 až 24 hodin. Poté se vzorky jednotlivě vyndají z vody, vlhkou tkaninou osuší a do pěti minut od vynětí se zváží. Nasákavost vzorků se pak vypočte dle 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 všech pěti vzorků vyjádřený v % zaokrouhlený na nejbližších 0,1 [8][30].

Zdánlivá pórovitost PZ je přesnějším ukazatelem pórovitosti mikrostruktury než nasákavost. Střep s větší měrnou hmotností je v zásadě vždy pórovitější než vzorek s menší za stejné nasákavosti. Zdánlivá pórovitost udává poměr mezi otevřenými póry vzorku k jeho celkovému objemu s póry. Stanovuje se současně se zkouškou nasákavosti a objemové hmotnosti. Zdánlivá pórovitost se vypočte ze vzorce:

$$PZ = \frac{m_n - m_w}{(m_n - m_{nw})} = NV \cdot \frac{\rho_v}{1000} [\%]$$

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

m_n ... hmotnost nasáknutého vzorku [g]

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

NV ... nasákavost [%]

ρ_v ... objemová hmotnost [kg/m³]

Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr všech vzorků vyjádřený v % zaokrouhlený na nejbližších 0,1 [31].

4.1.4 Stanovení ztráty hmotnosti a délkových změn při výpalu

Ztráta hmotnosti pálením se stanovuje podle normy ČSN 72 1565-6 Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení ztráty hmotnosti pálením, nasákavosti, zdánlivé pórovitosti a objemové hmotnosti. Délkové změny při výpalu se stanovují podle normy ČSN 72 1565-5 Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení délkových změn sušením a pálením.

Ztráta pálením se stanovuje na cihelkách vysušených do ustálené hmotnosti při teplotě 110 °C a poté vypálených na požadované teplotě. Po výpalu se zkušební vzorky uloží do exsikátoru s vysoušecí náplní a po vychladnutí se zváží s přesností na 0,1 g. Rozdíl hmotností cihelky před a po výpalu se vyjádří v procentech hmotnosti vysušené cihelky. Ztráta pálením se poté vypočte podle vzorce:

$$ZP = \frac{m_s - m_p}{m_s} \cdot 100 [\%]$$

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

m_p ... hmotnost vypáleného vzorku [g]

Výsledná hodnota je aritmetický průměr minimálně ze dvou hodnot, které se od průmětu neliší o více než 10 %. Udává se na jedno desetinné místo [31]

Délkové změny při výpalu se stanovují na cihelkách vytvořených podle ČSN 72 1565-4. Na vytvořených cihelkách o rozměrech 70 x 35 x 12 mm se na dvou protilehlých největších plochách diagonálně vyznačí razničkou úsečka vymezující vzdálenost $50,00 \pm 0,05$ mm a na cihelkách 100 x 50 x 20 mm vzdálenost $100,00 \pm 0,05$ mm. Na vypálených cihelkách se po jejich vychladnutí v exsikátoru stanoví délka úsečky měřidlem s přesností na $\pm 0,05$ mm [32][33].

Ze dvou naměřených hodnot na jedné cihelce se udává aritmetický průměr a pak se vypočítá hodnota délkové změny podle vzorce:

$$DP = \frac{l_p - l_s}{l_s} \cdot 100 [\%]$$

Kde: l_s ... aritmetický průměr délky úseček naměřený na protilehlých stranách jedné cihelky po vysušení [mm]

l_p ... aritmetický průměr délky úseček naměřený na protilehlých stranách jedné cihelky po výpalu [mm]

Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr hodnot nejméně ze dvou cihelk nelišících se od průmětu o více než 15 % uvedený v % a zaokrouhlený na desetiny [32][33].

4.1.5 Výskyt cicvárů

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

Cicvár je zrno vápenatých sloučenin vyskytující se jako škodlivina v cihlářských zeminách. Po vypálení ve styku s vlhkostí může nepříznivě ovlivnit jakost a použitelnost cihlářských výrobků. Za škodlivé jsou považovány tehdy, pokud po stanovení výskytu cicvárů je změna vzhledu výrobku větší, než připouští norma, dojde ke snížení průměrné pevnosti, nebo únosnosti výrobku o více než 20 %, nebo jejich vlivem dojde k nevyhovujícímu průsaku [8][34].

Zkouška se provádí na 5 celých vzorcích, které předtím nebyly vystaveny vlhkosti. Vzorky se prohlédnou, popíší a vloží na rošt do nádoby tak, aby se vzájemně nedotýkaly. Voda pod roštem se uvede do varu a nechá se vařit zhruba 1 hodinu. Nádoba se přikryje víkem a nechá se vařit další hodinu. Po skončení varu se vzorky nechají v uzavřené nádobě po dobu 4 hodin a pak se vytáhnou, prohlédnou a popíší. Nakonec se dle Tabulky 4 vyhodnotí výsledek zkoušky [8][34].

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

Tabulka 4 Kategorie obsahu cicvárů [34]

4.1.6 Stanovení náchylnosti ke tvorbě výkvětů

Náchylnost ke tvorbě výkvětů se stanovuje podle normy ČSN 72 2608 Skúšanie tehliarskych výrobkov. Stanovenie náchylnosti na tvorbu výkvetov a ČSN EN 772-5 ED. 2 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 5: Stanovení obsahu aktivních rozpustných solí v pálených zdících prvcích.

Cílem zkoušky je zjištění, zda výrobek neobsahuje výkvětovné soli, které ovlivňují jeho zabarvení a také mohou narušovat soudržnost samotného výrobku anebo jeho soudržnost s omítkou. Náchylnost ke tvorbě výkvětů se stanovuje pro výrobky používané na neomítané zdivo a na obklady způsobem, který jejich tvorbu umožní jen na určité části povrchu. Na všech ostatních výrobcích se zkouší způsobem, který umožní tvorbu výkvětů na celém povrchu zkoušeného vzorku [8][35].

Při způsobu A se zkouška provádí na 5 vzorcích, které jsou očištěny kartáčkem a uloženy svou největší plochou do samostatné misky, do které se nalije voda tak, aby její hladina přesahovala o zhruba 5 mm spodní okraj vzorku. Voda se postupně dolévá, aby se zachovala původní úroveň, a nechá se vzlínat do vzorku tak dlouho, dokud není horní plocha vzorku zcela prosáknutá. Poté se vzorek vytáhne a zabalí do polyethylenové fólie tak, aby odpařovací strana zůstala volná, a stáhne se gumou. Na 1 kg hmoty střepu se udává velikost odpařovací plochy 40 až 50 cm². Takto upravený vzorek se nechá vysušovat 14 dní v laboratorním prostředí (tj. 20 ± 5 ° C a 50 až 70 % vlhkosti) a poté se prohlédne [8][35].

Druhým způsobem je varianta B, při které se vzorky vloží do misky a ta se naplní do výšky 10 mm destilovanou vodou. Vzorky se nechají v misce po dobu 7 dní a postupně se hladina dolévá tak, aby byla konstantně 10 mm nad dnem misky. Potom se vzorky vyndají a uloží na 24 h do sušárny, ve které se vysuší při teplotě 105 až 110 °C. Vysušené vzorky se makroskopicky prohlédnou. Pokud jsou na povrchu zjištěny barevné skvrny, povlaky, nebo vysrážená sůl, tak je výrobek náchylný ke tvorbě výkvětů [8][35][36].

4.1.7 Mrazuvzdornost

Mrazuvzdornost cihelného střepe se stanovuje buďto metodou přímou, nebo nepřímou metodou pomocí KNS.

4.1.7.1 Stanovení mrazuvzdornosti přímou metodou

Mrazuvzdornost se stanovuje podle normy EN 772-22 (ČSN P CEN/TS) Zkušební metody pro zdící prvky – Část 22: Stanovení mrazuvzdornosti pálených zdících prvků nebo normy ČSN 72 2609 Zkušební metody pro zdící prvky – Specifické vlastnosti pálených zdících prvků.

Vzorky nasáklé vodou se vloží do mrazicího zařízení, jehož prostředí se předem ochladí na teplotu $-20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ tak, aby se vzájemně nedotýkaly. Při udržování teploty -20 °C se vzorky nechají v mrazicím prostředí po dobu 16 hodin. Poté se vzorky vyndají a rozmrazují v nádobě s vodou o teplotě $+15$ až $+30\text{ °C}$ po dobu nejméně 2 hodin. Po každém 5. cyklu se zkušební vzorky zkontrolují a zaznamená se zjištěná změna vzhledu. Totéž se provede i při posledním předepsaném cyklu a vzorky se následně vysuší do konstantní hmotnosti [8][37].

Na vzorcích se poté provedou zkoušky pevnosti nebo únosnosti. Pokud po zkoušce nastaly na vzorcích vzhledové změny, tak se posoudí dle příslušné normy. Každý vzorek se hodnotí samostatně, a pokud jsou poškození větší, než připouští norma (dle tab. x), tak se výsledek zkoušky mrazuvzdornosti považuje za nevyhovující a v dalších zkouškách se již nepokračuje. Pokud vzorky vyhovují z hlediska vzhledu, tak se podrobí zkoušce pevnosti nebo únosnosti [8][37].

Vzorky, jejichž průměrná pevnost nebo únosnost nepoklesla o více než 20 % vůči pevnosti či únosnosti vzorků, na kterých tato zkouška nebyla prováděna, jsou považovány za vyhovující z hlediska mrazuvzdornosti a dle počtu zmrazovacích cyklů se zařadí do kategorie dle Tabulky 5 [8][37].

Zdicí prvky	Pro chráněné konstrukce	Pro nechráněné konstrukce (lícové zdivo)
mrazuvzdorné	vzorek nevykazuje po zkoušce mrazuvzdornosti změnu vůči původnímu stavu vzorek vykáže pouze nepodstatné změny (odštěpky do hloubky max. 5 mm, trhlinky) a průměrná hodnota pevnosti naměřená po zkoušce mrazuvzdornosti neklesne o více než 15 % oproti deklarované pevnosti	na žádném vzorku se po zkoušce mrazuvzdornosti neprojeví viditelné změny vůči původnímu stavu, průměrná hodnota pevnosti neklesne o více než 15 % oproti deklarované pevnosti
nemrazuvzdorné	nejsou splněny všechny podmínky mrazuvzdornosti (za podstatné viditelné změny se považují praskliny, odlomení rohů, rozpůlení, vrstevnatý rozpad a další typy porušení ohrožující funkčnost zdicích prvků)	

Tabulka 5 Podmínky mrazuvzdornosti [37]

Kategorie mrazuvzdornosti podle 5.3.6 v ČSN EN 771-1+A1		Počet zmrazovacích cyklů podle 4.1
F 0	neagresivní prostředí	0
F 1	mirně agresivní prostředí	15 25
F 2	silně agresivní prostředí	50

Tabulka 6 Mrazuvzdornost pálených zdicích prvků [27]

4.1.7.2 Stanovení mrazuvzdornosti nepřímou

Využívá se pouze jako odhad k předběžnému posouzení chování výrobků při vystavení mrazu. Nepřímé metody posuzují mrazuvzdornost na základě nasákavosti a pórovitosti. Jedná se o rychlé, ale ne příliš přesné metody. Obecně se udává, že při narůstající nasákavosti mrazuvzdornost klesá.

Koeficient nasycení střepe (KNS) se vypočítá jako poměr mezi nasákavostí za studena po 24 hodinách a nasákavostí varem po 5 hodinách. Podle vypočteného poměru nasákavostí se poté informativně provede klasifikace dle Tabulky 7 [8][38].

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

Tabulka 7 Vyhodnocení koeficientu nasycení střepe (KNS) [38]

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] [39]

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

Tabulka 8 Vyhodnocení saturačního poměru [39]

4.1.8 Stanovení mechanických vlastností

Stanovuje se pevnost cihlářského střepe v tahu za ohybu a v tlaku.

4.1.8.1 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Pevnost v tahu za ohybu se stanovuje podle normy ČSN 72 2605 Skúšanie tehliarskych výrobkov. Stanovenie mechanických vlastností.

Vzorky se před zkoušením změří s přesností ± 1 mm a v případě nerovností zabrousí bruskou do roviny, případně se stykové plochy vyrovnají s měřícím přípravkem pomocí pásků širokých 15 až 25 mm a 10 mm tlustých. Poté se vzorky umístí na podpěry, jejichž délka je nejméně rovna šířce vzorku a vzdálenost, pokud to technická norma nepředepisuje jinak, upraví se tak, aby okraje vzorku symetricky přesahovaly o 25 mm [40].

K dokonalému přilehnutí podpěr i tlačného válečku se vkládá mezi vzorek a podpěry 5 mm tlustá pryžová vložka. Takto opatřený vzorek se zatěžuje plynule pomocí tlačného válečku, který se umístí doprostřed osové vzdálenosti podpor a dosedá na vzorek po celé šířce. Vzorek se zatěžuje až do jeho zlomení a zaznamená se dosažené zatížení [40].

Pevnost v tahu za ohybu se poté vypočte podle vzorce:

$$\sigma_p = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

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

l ... osová vzdálenost podpěr [mm]

b ... šířka vzorku [mm]

h ... tloušťka vzorku [mm]

Výsledná hodnota se zaokrouhlí na nejbližších 0,1 N/mm² [40].

4.1.8.2 Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku se stanovuje také dle normy ČSN 72 2605 Skúšanie tehliarskych výrobkov. Stanovenie mechanických vlastností a podle normy ČSN EN 772-1+A1.

Zkouška se provádí buďto na celém výrobku, anebo na 2 zlomcích ze zkoušky pevnosti v tahu za ohybu. Tlačné plochy vzorků musí být zarovnané a vzájemně rovnoběžné, což se provede obroušením na rovinné brusce anebo vytvořením tenké, maximálně 10 mm tlusté vyrovnávací vrstvy z cementové malty. Poté se vzorek vloží na dolní tlačnou desku lisu a zatíží horní tlačnou deskou opatřenou kulovým kloubem po celé ploše vzorku či zlomku. Zatížení se zvyšuje až do porušení vzorku [27][40].

Pevnost v tlaku se poté vypočítá podle 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]

Výsledná hodnota se zaokrouhlí na nejbližších 0,1 N/mm² [40].

4.2 Metodika zkoušení cihlářských zemin

4.2.1 Rentgenová difrakční analýza (RTG)

Je to metoda, která se využívá ke stanovení mineralogického složení látek a funguje na principu difrakce rentgenových paprsků na krystalické mřížce vzorků. Metoda využívá krystalografické uspořádání látek a interakci rentgenového záření s částicemi, které tvoří krystalovou mřížku látek. Rentgenové záření se na atomech mřížky rozptyluje a v některých vhodných směrech se interferencí zesiluje a produkuje difraktované záření. Zesílení difraktovaných paprsků interferencí nastane pouze tehdy, pokud jsou sekundární paprsky rovnoběžné a je splněna Braggova rovnice. Poté se z vlnové délky a úhlu dopadu záření na základě Braggovy rovnice vypočte příslušná mezivinná vzdálenost d [9].

Výstupem zkoušky je rentgenogram, na jehož ose X jsou hodnoty úhlů difraktovaného záření 2θ a na ose Y intenzita. Rentgenogram se poté vyhodnotí intuitivním porovnáváním tzv. peaků (zvýšená intenzita odražených paprsků RTG záření) s tabulkovými hodnotami mezivinných vzdáleností minerálu a stanoví se mineralogické složení [9].

4.2.2 Diferenční termická a gravimetrická analýza

Diferenční termická analýza se stanovuje podle normy ČSN 72 1083 Termické rozbory keramických surovin. V rámci diferenční termické analýzy se v pícce vedle sebe zahřívá standardní termicky inertní látka a zkoušený vzorek a měří se rozdíl jejich teplot v závislosti na teplotě standardu. Zkušební vzorek se podle druhu přístroje naváží v množství 0,1 g nebo 2,0 g s přesností $\pm 0,001$ g a umístí se do zkušebního kelímku stejně jako standard o stejné hmotnosti. Poté se přístroj spustí a registrovaná křivka znázorňuje rozdíl teplot mezi termicky inertní látkou a měřeným vzorkem vzhledem k teplotě. Průběh křivky nad nulovou křivkou znázorňuje exotermní reakce (uvolňování tepla – oxidace, krystalizace) a nad endotermní reakce (spotřeba tepla – dehydratace, dehydroxilace). Vyhodnocení se provede srovnáním průběhů křivek vzorku se standardními křivkami a ke kvalitnímu vyhodnocení se použijí údaje o teplotě, vrcholech a tvarech křivek endotermních a exotermních reakcí [41].

V současných přístrojích je také zaznamenávána změna hmotností v závislosti na teplotě výpalu a výstupem analýzy je nejen DTA křivka, ale i TG křivka zaznamenávající úbytek hmotnosti a DTG křivka, která je první derivací TG křivky. Podle TG křivky jsme schopni přesně určit počátek a konec reakci [41].

4.2.3. Kontrakčně-dilatační termická analýza (KDTA)

Kontrakčně dilatační termická analýza se stanovuje podle normy ČSN 72 1083 Termické rozbory keramických surovin.

Při kontrakčně-dilatační termické analýze se zaznamenávají délkové teplotní změny zkušebního tělesa v průběhu jeho zahřívání. Zkušební vzorek tvaru válce, nebo hranolu bez trhlin se umístí do dilatometru přístroje tak, aby byl v pásmu konstantní teploty, a speciální přístroj zaznamenává délkové změny, ke kterým dochází v závislosti na zvyšující se teplotě. Přístroj zaznamenává délkové změny tělesa v závislosti na rovnoměrně zvyšující se teplotě a výsledkem zkoušky je křivka délkových změn vyjádřená v mm nebo % v závislosti na teplotě. Z hodnot teplotních délkových změn a orientačně i tvaru křivek se dá určit přítomnost některých nerostů keramických materiálů a jejich chování při technologickém zpracování [41].

5. Experimentální část

Předmětem experimentální části této diplomové práce je zjišťování parametrů a vlastností směsí pro výrobu cihel ze sedmi různých cihelen. Jedná se o směsi z cihelen ve Vysokém Mýtě, Polom, Praze Štěrbolách, Žopech, Šitbořicích, Bratronicích a Zlíně, které se zásadně liší svým složením.

Lícové cihly musí splňovat požadavky na rozměry, vzhled (barva, výkvětovost, cicváry) a mrazuvzdornost.

5. 1 Vlastnosti vypáleného cihlářského střepu

5.1.1 Zkoušené vzorky

Zkoušené vzorky jsou nařezané čtvrtky výsušku cihly plné standardního rozměru (290 x 140 x 65 mm). Tyto vzorky se poté vysušily v sušárně na konstantní hmotnost, vypálily v laboratorní elektrické peci při požadované teplotě, s teplotním nárůstem v peci 2 °C/min, po dobu 120 minut poté probíhal výpal na maximální teplotě.

Vzorek	Teplota výpalu [°C]	Původ	Vzorek	Teplota výpalu [°C]	Původ
M1	750	Vysoké Mýto	P1	750	Praha Štěrboholy
M5			P5		
M2	850		P2	850	
M6			P6		
M3	950		P3	950	
M7			P7		
M4	1050		P4	1050	
M8			P8		
Z1	750	Zlín	ZL1	750	Zlín - lícovka
Z5			ZL5		
Z2	850		ZL2	850	
Z6			ZL6		
Z3	950		ZL3	950	
Z7			ZL7		
Z4	1050		ZL4	1050	
Z8			ZL8		

Tabulka 9 Vstupní údaje o vzorcích M, P, Z a ZL

Vzorek	Teplota výpalu [°C]	Původ	Vzorek	Teplota výpalu [°C]	Původ
Ž1	750	Žopy	S1 (750-1)	750	Šitbořice
Ž5			S5	750	
Ž2	850		S2 (850-1)	850	
Ž6			S6	850	
Ž3	950		S3 (950-1)	950	
Ž7			S7	950	
Ž4	1050		S4 (1050-1)	1050	
Ž8			S8	1050	
L1	750	Polom	B1	750	Bratronice
L2			B2		
L3	850		B3	850	
L4			B4		
L	950		B5	950	
L5			B6		
L6			1050	B7	
L9	B8				
L7	1050	LL5	750	Polom – lícovka	
L8		LL1	850		
L10		LL7	950		
		LL3			
	LL6	1050			
	LL2				
		LL4			

Tabulka 10 Vstupní údaje o vzorcích Ž, S, L, B a LL

5.1.2. Výpočet nasákavosti, objemové hmotnosti a zdánlivé pórovitosti

V rámci zkoušení se hmotnostně změřily vzorky vysušené a vypálené. Následně se vždy na jednom z vzorků z každé směsi, vypáleném při různé teplotě, provedla zkouška výkvětovitosti, ponecháním vzorku po 24 hodin ve vodě, a nakonec se provedla i zkouška varem po dobu 4 hodin. Z těchto hodnot se vypočítala 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]

Dále se vypočítala objemová hmotnost pravidelných vzorků dle vzorce:

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

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

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

Z naměřených hodnot se vypočítala i objemová hmotnost střepe nepravidelného tvaru pomocí hydrostatického měření dle vzorce:

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

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

m_n ... hmotnost nasáknutého vzorku [g]

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

Nakonec se z vypočtených nasákavostí a objemových hmotností vypočetla zdánlivá pórovitost:

$$PZ = NV \cdot \frac{\rho_v}{1000} [\%]$$

Kde: NV ... nasákavost [%]

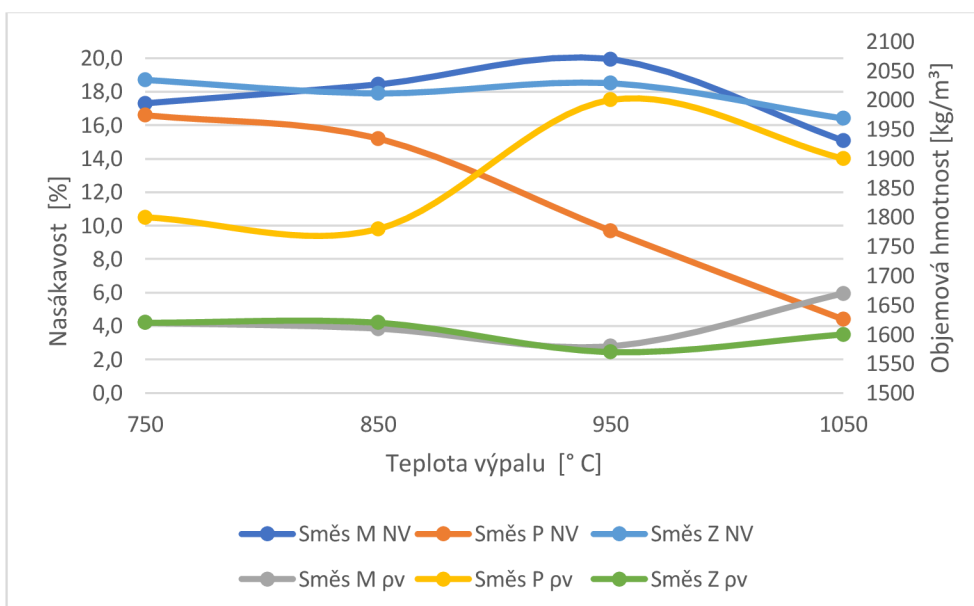
ρ_v ... objemová hmotnost [kg/m³]

Vzorek	m_s [g]	m_p [g]	m_s (výkvět) [g]	m_{24} [g]	m_{var} [g]	NV [%]	ρ_v [kg/m ³]	PZ [%]
M1	1023,9	955,9	959,1	1102,8	1121,3	17,3	1620	28,0
M6	1140,8	1049,3	1050,4	1208,2	1242,8	18,4	1610	29,7
M7	1128,7	1036,3	1037,1	1199,5	1242,9	19,9	1580	31,5
M8	1172,8	1099,6	1099,9	1223,1	1265,5	15,1	1670	25,2
P1	1149,1	1068,3	1070,9	1248,3	1245,3	16,6	1800	29,8
P2	1244	1157,3	1157,8	1325,9	1333,6	15,2	1780	27,1
P3	1282,6	1183,1	1184,2	1292,3	1298,4	9,7	2000	19,5
P8	1188,5	1096,7	1095,2	1129,5	1145,08	4,4	1900	8,4
Z1	987,7	902,6	904,3	1061,8	1071,8	18,7	1620	30,4
Z2	1079,6	980,7	981,1	1141,7	1156,2	17,9	1620	29,0
Z3	1094,6	987,9	988,0	1141,3	1171,1	18,5	1570	29,1
Z8	930,1	840,3	841,1	930,0	978,0	16,4	1600	26,2
ZL1	1048,2	983,2	982,1	1096,4	1100,6	11,9	2100	25,1
ZL2	963,6	902,5	901,2	994,0	998,2	10,6	2130	22,6
ZL3	1000,8	933,3	932,7	1002,4	1012,5	8,5	2200	18,7
ZL4	1097,1	1030,9	1030,9	1077,4	1109,4	7,6	2200	16,7
Ž5	1070,1	938,6	957,3	1125,5	1140,5	21,5	1570	33,8
Ž6	934,1	789,2	797,2	959,7	964,3	22,2	1610	35,7
Ž7	993,7	836,1	837,9	1011,5	1019,5	21,9	1530	33,6
Ž4	940,7	803,9	804,1	900,5	952,2	18,4	1520	28,0
S1	1317,0	1192,3	1217,6	1433,2	1451,2	21,7	1720	37,3
S2	1189,3	1023,1	1050,9	1251,9	1251,9	22,4	1640	36,7
S3	1281,4	1101,3	1113,9	1343,2	1342,2	21,9	1620	35,5
S4	1121,0	960,9	961,9	1157,5	1157,5	20,5	1600	32,8
B1	1232	1150,4	1160,8	1316,1	1335,4	13,9	1740	24,1
B4	1094,2	1048,1	1052,2	1195,1	1208,8	13,3	1700	22,6
B5	1175,6	1116,3	1120,3	1267,0	1290,1	13,5	1770	23,8
B7	1151,4	1098,2	1100,1	1204,9	1228,4	10,6	1890	20,0

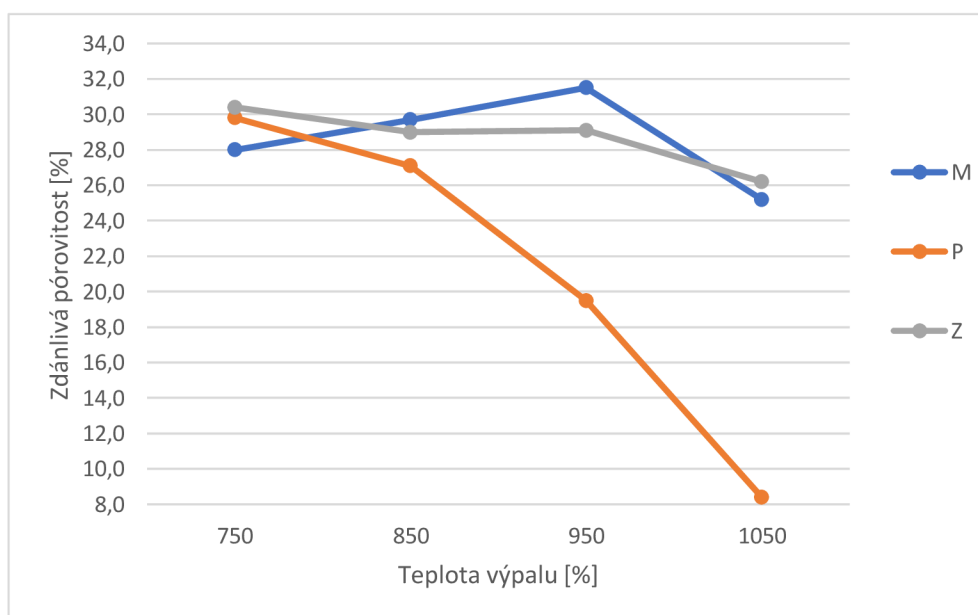
Tabulka 11 Nasákavost, objemová hmotnost a zdánlivá pórovitost vzorků M, P, Z, ZL, Ž, S a B

Vzorek	m_s [g]	m_p [g]	m_s (výkvět) [g]	m_{24} [g]	m_{var} [g]	NV [%]	ρ_v [kg/m ³]	PZ [%]
L2	1205,1	1108,2	1112,6	1262,3	1281,9	15,7	2380	37,3
L4	1074,3	992,3	996,4	1130,7	1153,4	16,2	1730	28,1
L6	1124,8	1022,1	1028,4	1167,3	1199,0	17,3	1750	30,3
L7	1111,3	1022,3	1036,2	1112,1	1166,4	14,1	1700	24,0
LL5	408,7	386,4	388,4	435,4	438,9	13,6	1550	21,0
LL1	962,9	928,2	928,4	1042,1	1051,7	13,3	1900	25,3
LL3	817,8	782,0	784,6	877,7	887,8	13,5	1690	22,9
LL4	1072,0	1028,1	1031,7	1118,1	1144,7	11,3	2020	22,9

Tabulka 12 Nasákavost, objemová hmotnost a zdánlivá pórovitost vzorků L a LL



Graf 1 Závislost nasákavosti a objemové hmotnosti na teplotě výpalu směsi M, P a Z

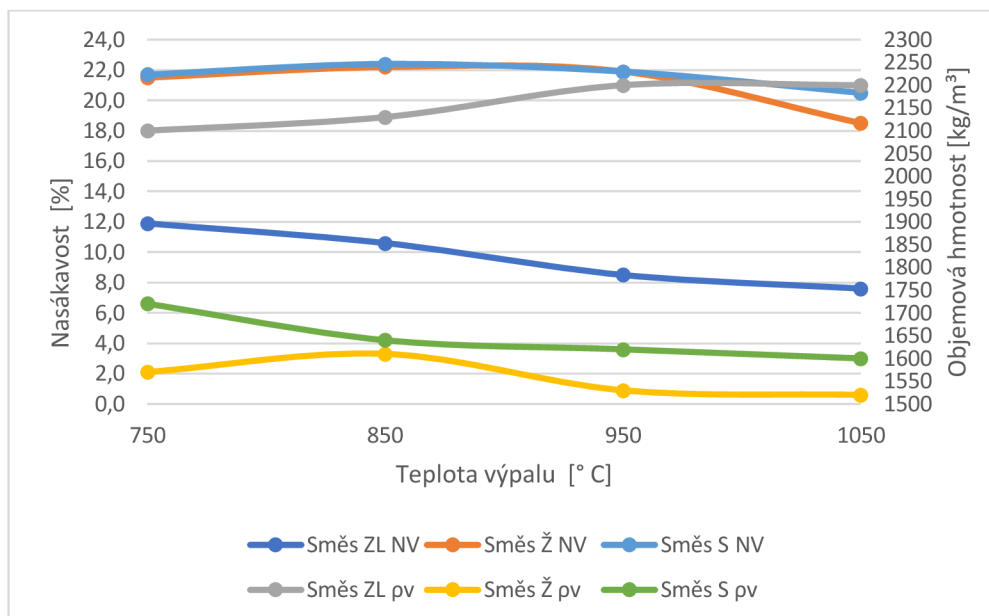


Graf 2 Zdánlivá pórovitost v závislosti na teplotě výpalu směsí M, P a Z

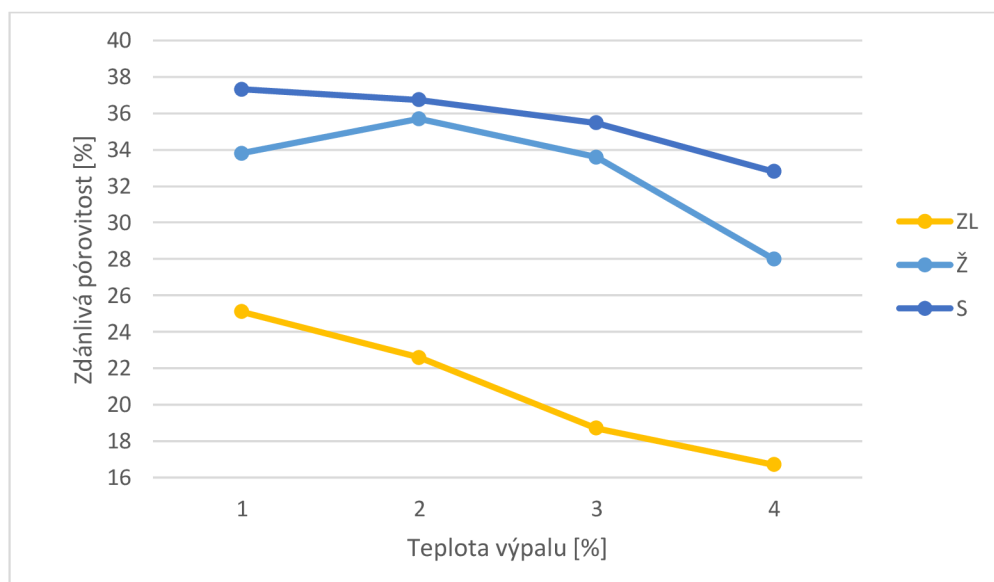
Z grafů lze vyčíst, že u vzorků ze směsi z Vysokého Mýta při rostoucí teplotě výpalu rostla i nasákavost, docházelo tedy k výpalu látek obsažených ve směsi a více pórovité struktuře. Nasákavost však při teplotě výpalu 1050 °C klesla na nejnižší hodnotu, protože pravděpodobně došlo k počátku slinování. Objemová hmotnost vzorků z této směsi byla úměrná nasákavosti a s rostoucí hodnotou nasákavosti objemová hmotnost klesala, což bylo pravděpodobně způsobeno výpalem lehčiv. Zdánlivá pórovitost zde měla stejný průběh jako nasákavost.

Nasákavost vzorků ze štěrboholské směsi s rostoucí teplotou výpalu klesala, docházelo tedy během výpalu k jejich zhutňování. Objemová hmotnost zde nebyla úměrná nasákavosti a s klesající nasákavostí nerostla. Objemová hmotnost nejprve klesala při 850 °C na nejnižší hodnotu, poté vzrostla a poté opět klesla při 1050 °C. Maximální objemová hmotnost nastala při 950 °C a byla o tolik větší, že se dá předpokládat, že během výpalu došlo k výrazným délkovým změnám vzorku, aniž by došlo k velké změně hmotnosti. Opět i zde zdánlivá pórovitost měla stejný průběh jako nasákavost a s rostoucí teplotou výpalu klesala.

Jako poslední z těchto grafů můžeme vyčíst, že vzorky ze směsi Zlín měly velice podobné hodnoty a průběhy jako vzorky ze směsi Vysoké Mýto. Nejvyšší nasákavost měly při teplotě výpalu 750 °C a nejnižší při 1050 °C. Ani zde nebylo dosaženo toho, že by objemová hmotnost s klesající nasákavostí rostla. Jelikož objemová hmotnost nejprve klesala a mezi 950 °C a 1050 °C opět rostla, což je opačné nasákavosti, tak při 1050 °C nejspíš došlo k počátku slinování.



Graf 3 Závislost nasákavosti a objemové hmotnosti na teplotě výpalu směsi ZL, Ž a S

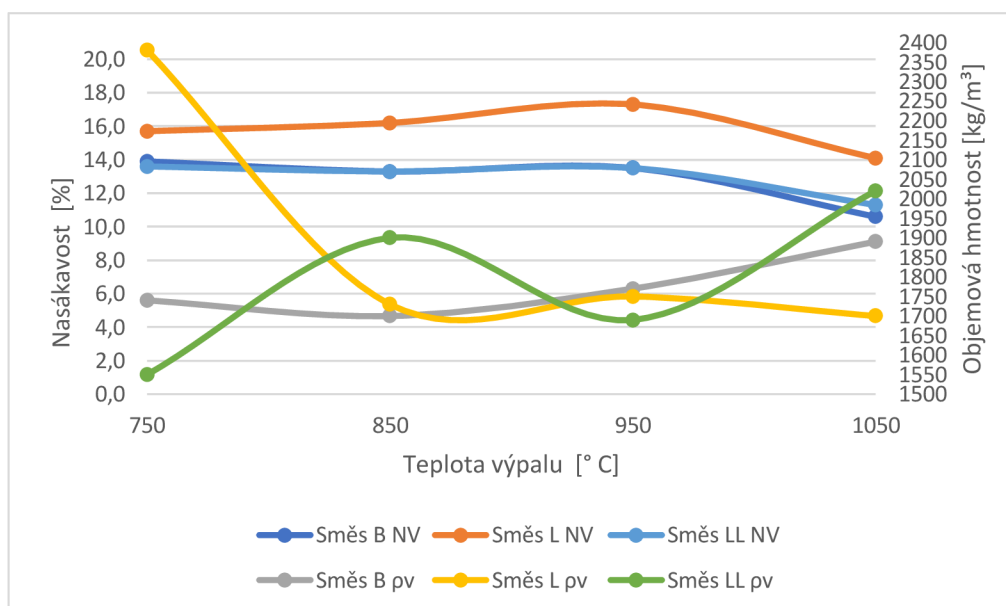


Graf 4 Zdánlivá pórovitost v závislosti na teplotě výpalu směsí ZL, Ž a S

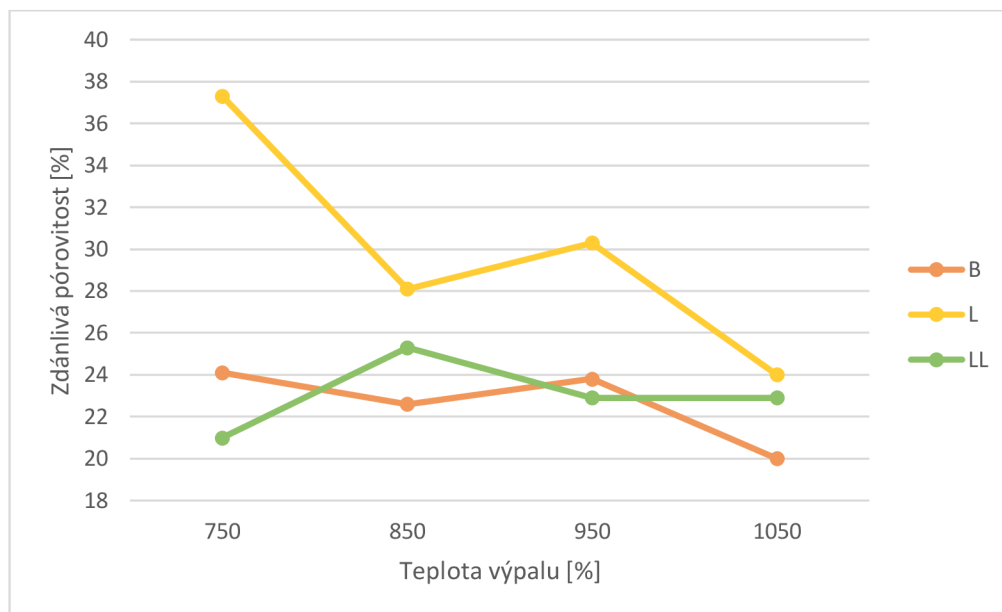
Dle druhého grafu je patrné, že nejvyšší nasákavost směsi Zlín-lícovka měl vzorek vypálený při teplotě 750 °C a nejnižší hodnoty dosáhl vzorek vypálený při teplotě 1050 °C. Jelikož objemová hmotnost s rostoucí teplotou výpalu na rozdíl od nasákavosti rostla, docházelo během výpalu nejspíš ke zhutňování. To, že tomu tak opravdu bylo dokazuje zdánlivá pórovitost, která opravdu s rostoucí teplotou výpalu klesala.

Nejvyšší nasákavost směsi Žopy měl vzorek vypálený při teplotě výpalu 850 °C, který měl i největší objemovou hmotnost. Nasákavost nejprve mírně stoupala a poté od teploty 850 °C klesala až na nejnižší hodnotu při teplotě 1050 °C. Objemová hmotnost nejprve vzrostla a poté postupně klesala. Proto směs nejspíš obsahovala vápenec, který vytvořil anortit a poté došlo nejspíš i ke zhutnění a nedocházelo tak ke zvyšování nasákavosti s rostoucí teplotou výpalu a výraznému snižování objemové hmotnosti. To by odpovídalo tomu, že zdánlivá pórovitost nejprve vzrostla poté s rostoucí teplotou výpalu klesala.

Průběh nasákavosti vzorků směsi ze Šitbořic se se změnou teploty výpalu příliš nemění a pohybuje se řádově ve stejných hodnotách. Objemová hmotnost nejprve výrazně klesne mezi teplotami výpalu 750 °C a 850 °C, došlo pravděpodobně k výpalu lehčiv. Poté objemová hmotnost s rostoucí teplotou výpalu postupně klesá, ale hodnoty nejsou příliš rozdílné. Směs nejspíš obsahuje velké množství vápence, ze kterého při výpalu vzniká anortit a nedochází tak k velkým objemovým změnám. Zdánlivá pórovitost s rostoucí teplotou výpalu klesala.



Graf 5 Závislost nasákavosti a objemové hmotnosti na teplotě výpalu směsi B, L a LL



Graf 6 Zdánlivá pórovitost v závislosti na teplotě výpalu směsí B, L a LL

Z výsledků je patrné, že nejvyšší nasákavost směsi Bratronice měl vzorek vypálený při teplotě 750 °C a nejnižší hodnoty dosáhl vzorek vypálený při teplotě 1050 °C, který měl současně nejvyšší objemovou hmotnost. Jelikož objemová hmotnost nejprve klesne a nasákavost také, pravděpodobně nedojde ke zvětšení otevřených pórů. Od 950 °C poté dochází ke zhutňování, protože roste objemová hmotnost a klesá nasákavost. Toto tvrzení by potvrzovala zdánlivá pórovitost, která nejprve klesla při 850 °C, poté vzrostla a od 950 °C klesala.

U směsi z Polomi došlo nejprve k výraznému snížení objemové hmotnosti při teplotě výpalu 850 °C, zároveň ale zvýšení nasákavosti při této teplotě nebylo tak výrazné, tak pravděpodobně došlo k výraznému výpalu lehčiv ale také k menšímu nabobtnání a částečnému ucpání otevřených pórů. Mezi teplotami 850 °C a 950 °C pak objemová hmotnost i nasákavost mírně vzrostla, došlo nejspíš opět ke zvětšení objemu vzorku. Od 950 °C pak objemová hmotnost rostla a nasákavost klesala, nastalo tak nejspíš zhutňování. Tomu by odpovídala i zdánlivá pórovitost, která nejprve výrazně klesla při 850 °C, poté vzrostla a mezi teplotami 950 °C a 1050 °C opět klesla, a to dost výrazně.

Jako poslední se z grafu dá vyčíst, že vzorky ze směsi Polom-lícovka dosáhly nejvyšší nasákavosti při teplotě výpalu 750 °C a ta poté postupně klesala s teplotou výpalu. Objemová hmotnost nejprve při teplotě 850 °C vzrostla, poté při 950 °C klesla a dále už stoupala. Pravděpodobně tedy došlo při 850 °C k nabobtnání a od 950 °C nastalo nejspíš slinování. Zdánlivá pórovitost také nejprve vzrostla při 850 °C a poté klesala.

5.1.3 Ztráta hmotnosti a délkové změny výpalem

Jelikož byly známy délkové a hmotnostní údaje před a po vypálení vzorků vyhodnotila se i ztráta hmotnosti a délkové změny během výpalu.

Ztráta hmotnosti výpalem ZP se vypočítala podle vzorce:

$$ZP = \frac{m_s - m_p}{m_s} \cdot 100 [\%]$$

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

m_p ... hmotnost vypáleného vzorku [g]

Dále se spočítaly i délkové změny během výpalu podle vzorce:

$$DP = \frac{l_p - l_s}{l_s} \cdot 100 [\%]$$

Kde: l_s ... délka vzorku před výpalem [mm]

l_p ... délka vzorku po výpalu [mm]

Vzorek	m _s [g]	l _s [mm]	m _p [g]	l _p [mm]	ZP [%]	∅ ZP [%]	DP [%]	∅ DP [%]
M1	1023,9	144,4	955,9	144,9	6,64	6,69	0,35	0,4
M5	1179,6	145,8	1100,1	146,4	6,74		0,41	
M2	992,6	143,5	912,7	144,7	8,05	8,04	0,84	0,8
M6	1140,8	144,6	1049,3	145,6	8,02		0,69	
M3	1006,4	145,2	923,7	146,5	8,22	8,20	0,90	0,8
M7	1128,7	143,1	1036,3	144,1	8,19		0,70	
M4	1013,6	138,7	943,6	139,9	6,91	6,57	0,89	0,8
M8	1172,8	142,2	1099,6	143,1	6,24		0,66	
P1	1149,1	143,0	1068,3	144,0	7,03	7,02	0,70	0,7
P5	1256,1	142,3	1168,1	143,2	7,01		0,63	
P2	1244,0	142,6	1157,3	142,0	6,97	7,01	-0,42	0,1
P6	1275,2	141,9	1185,4	142,7	7,04		0,56	
P3	1282,6	142,9	1183,1	137,4	7,76	7,72	-3,85	-3,5
P7	1196,0	142,6	1104,0	138,2	7,69		-3,09	
P4	1074,6	146,3	975,5	141,2	9,22	8,47	-3,49	-3,0
P8	1188,5	147,2	1096,7	143,4	7,72		-2,58	
Ž1	1000,1	138,9	886,4	139,1	11,37	11,83	0,14	0,1
Ž5	1070,1	137,9	938,6	138,0	12,29		0,07	
Ž2	917,3	138,3	785,7	139,1	14,35	14,93	0,58	0,4
Ž6	934,1	138,5	789,2	138,7	15,51		0,14	
Ž3	938,9	139,5	800,8	140,0	14,71	15,28	0,36	0,3
Ž7	993,7	138,0	836,1	138,4	15,86		0,29	
Ž4	940,7	137,6	803,9	138,2	14,54	15,64	0,44	0,4
Ž8	945,1	136,5	787,0	137,0	16,73		0,37	
ZL1	1048,2	140,2	983,2	141,1	6,20	6,21	0,64	0,6
ZL5	839,1	139,6	787,0	140,3	6,21		0,50	
ZL2	963,6	140,6	902,5	140,8	6,34	6,24	0,14	0,2
ZL6	526,0	140,0	493,7	140,5	6,14		0,36	
ZL3	1000,8	140,5	933,3	139,3	6,74	6,78	-0,85	-0,8
ZL7	1007,9	139,9	939,2	138,9	6,82		-0,71	
ZL4	1097,1	140,3	1030,9	139,2	6,03	8,40	-0,78	-0,6
ZL8	631,2	137,0	563,3	136,5	10,76		-0,36	

Tabulka 13 Hmotnostní a délkové změny způsobené výpalem vzorků M, P, Ž a ZL¹

¹ Pozn. Červené hodnoty značí průměrné hodnoty, jejichž dílčí výsledky nespĺnily požadavek maximálního rozdílu od průměrné hodnoty 10 % pro ZP a 15 % pro DP a nebylo s nimi dále počítáno.

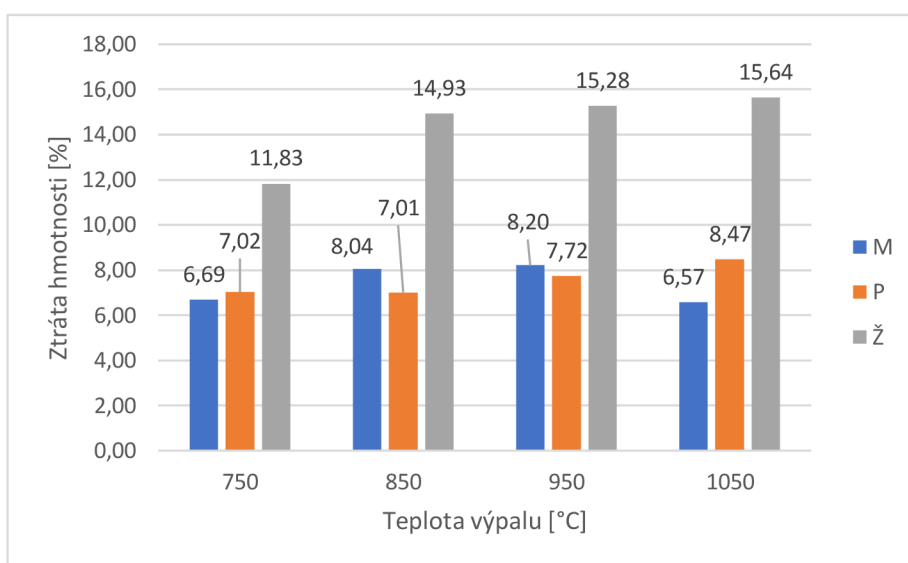
Vzorek	m _s [g]	l _s [mm]	m _p [g]	l _p [mm]	ZP [%]	∅ ZP [%]	DP [%]	∅ DP [%]
Z1	987,7	138,0	902,6	138,0	8,62	8,74	0,00	0,2
Z5	934,5	141,2	851,6	141,7	8,87		0,35	
Z2	1079,6	137,2	980,7	137,5	9,16	9,34	0,22	0,2
Z6	921,5	140,1	833,7	140,3	9,53		0,14	
Z3	1094,6	139,7	987,9	140,0	9,75	9,95	0,21	0,0
Z7	930,6	140,3	836,2	140,0	10,14		-0,21	
Z4	943,1	138,3	837,9	138,4	11,16	10,41	0,07	0,0
Z8	930,1	139,9	840,3	139,8	9,66		-0,07	
S1	1106,1	149,2	991,6	149,8	10,35	9,94	0,40	0,3
S5	1273,2	149,5	1151,8	149,9	9,54		0,27	
S2	1119,6	147,8	953,1	147,7	14,87	14,42	-0,07	-0,1
S6	1289,5	146,2	1109,4	146,0	13,97		-0,14	
S3	1056,5	150,1	893,1	150,9	15,47	14,81	0,53	0,5
S7	1158,6	149,9	994,5	150,5	14,16		0,40	
S4	956,2	147,6	806,1	148,0	15,70	14,94	0,27	0,2
S8	1194,8	146,5	1025,2	146,8	14,19		0,20	
L1	937,7	137,3	862,1	138,3	8,06	8,05	0,7	0,6
L2	1205,1	137,2	1108,2	137,9	8,04		0,5	
L3	1113,5	138,7	1030,5	139,4	7,45	7,49	0,5	1,0
L4	1074,3	137,3	992,3	138,9	7,63		1,2	
L	1651,7	137,7	1530,0	139,7	7,37		1,4	
L5	1056,2	137,2	968,5	139,7	8,30	8,85	1,8	2,4
L6	1124,8	138,2	1022,1	139,2	9,13		0,7	
L9	985,1	135,2	895,4	141,3	9,11		4,6	
L7	1111,3	139,4	1022,3	145,7	8,01	7,96	4,5	5,3
L8	947,7	139,0	872,7	147,8	7,91		6,4	
L10	1197,7	138,3	1102,3	145,2	7,97		5,0	
B1	1232,0	140,7	1150,4	140,9	6,62	6,55	0,2	0,24
B2	1180,6	139,6	1104,2	140,0	6,47		0,3	
B3	1012,7	119,6	869,1	120,1	14,18	9,20	0,4	0,62
B4	1094,2	138,9	1048,1	140,1	4,21		0,9	
B5	1175,6	140,6	1116,3	140,7	5,04	5,02	0,0	-0,2
B6	1168,5	138,4	1110,1	137,9	5,00		-0,4	
B7	1151,4	140,2	1098,2	138,3	4,62	4,53	-1,4	-1,7
B8	1216,7	140,2	1162,6	137,4	4,45		-2,0	

Tabulka 14 Hmotnostní a délkové změny způsobené výpalem vzorků Z, S, L a B²

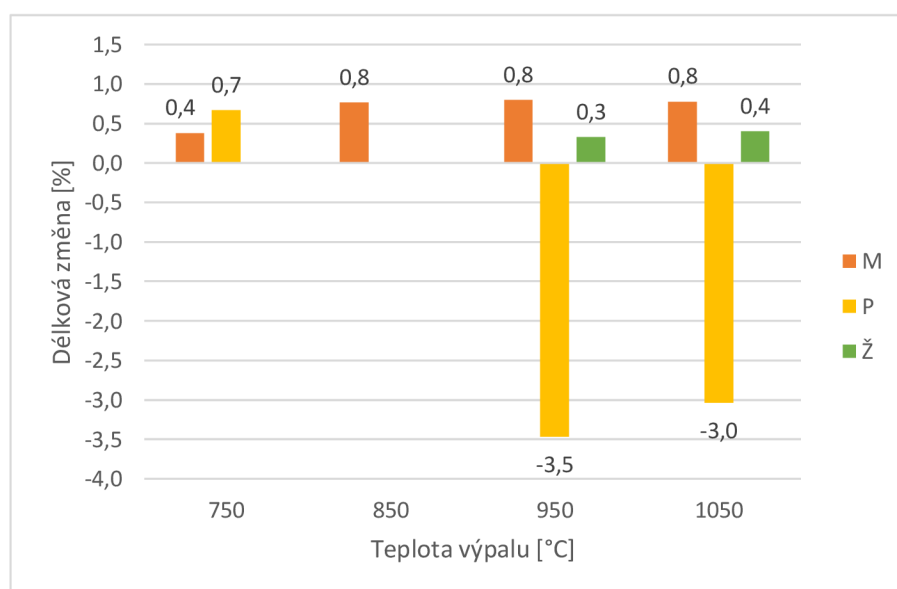
² Pozn. Červené hodnoty značí průměrné hodnoty, jejichž dílčí výsledky nespĺnily požadavek maximálního rozdílu od průměrné hodnoty 10 % pro ZP a 15 % pro DP a nebylo s nimi dále počítáno.

Vzorek	m _s [g]	l _s [mm]	m _p [g]	l _p [mm]	ZP [%]	∅ ZP [%]	DP [%]	∅ DP [%]
LL5	408,7	137,3	386,4	138,1	5,46	5,46	0,6	0,6
LL1	962,9	136,9	928,2	138,3	3,60	3,77	1,0	2,3
LL7	449,9	71,4	432,2	73,9	3,93		3,6	
LL3	817,8	137,4	782,0	138,8	4,38	4,31	1,0	0,9
LL6	721,3	137,1	690,7	138,1	4,24		0,7	
LL2	807,7	112,8	778,3	139,1	3,64	3,87	23,3	11,6
LL4	1072,0	137,3	1028,1	137,2	4,10		-0,1	

Tabulka 15 Hmotnostní a délkové změny způsobené výpalem vzorků LL³



Graf 7 Ztráta hmotnosti výpalem v závislosti na teplotě výpalu vzorků M, P a Ž



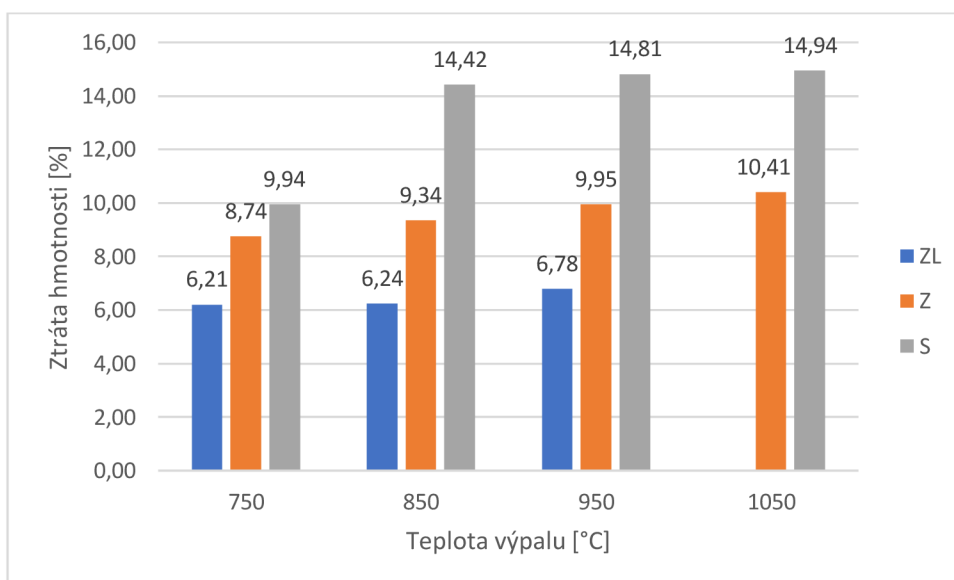
Graf 8 Délkové změny v závislosti na teplotě výpalu vzorků M, P a Ž

³ Pozn. Červené hodnoty značí průměrné hodnoty, jejichž dílčí výsledky nespĺnily požadavek maximálního rozdílu od průměrné hodnoty 10 % pro ZP a 15 % pro DP a nebylo s nimi dále počítáno.

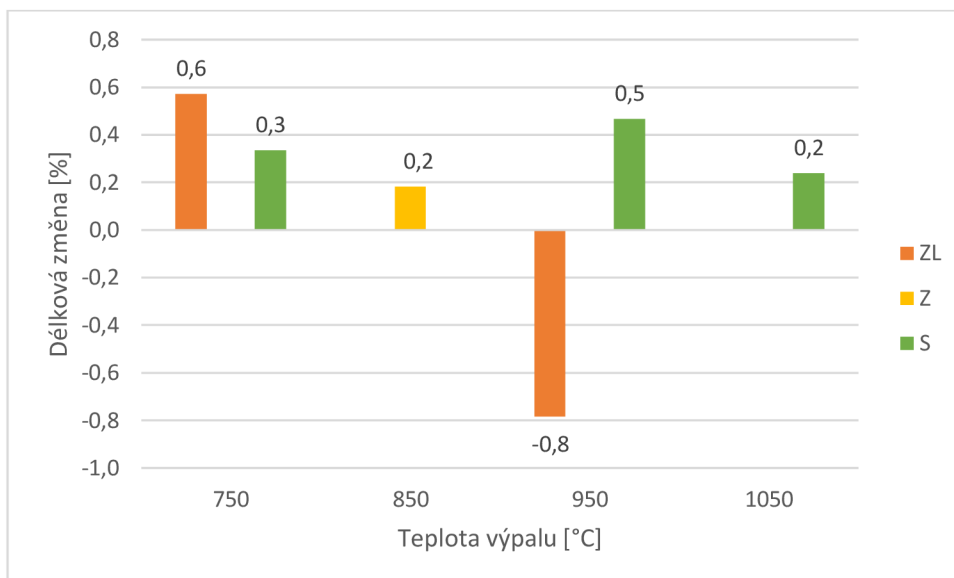
Z grafů lze vyčíst, že vzorky ze směsi z Vysokého Mýta s rostoucí teplotou výpalu měly větší hmotnostní ztráty, avšak při teplotě 1050 °C ztráty poklesly. Stejně tak i délkové změny s teplotou výpalu vzrostly, mezi teplotami 850 °C až 1050 °C však tato hodnota zůstala stejná. Můžeme tedy usoudit, že během výpalu nejprve docházelo k výpalu lehčiv a zároveň mírnému nabobtnání a od 1050 °C došlo pravděpodobně k počátku slinování.

Ztráta hmotnosti směsi Štěrboholy byla největší při teplotě 1050 °C. Ztráta hmotnosti nejprve mírně klesla mezi teplotami 750 °C a 850 °C a poté s rostoucí teplotou výpalu rostla. Nejmenší délkové změny nastaly při teplotě 750 °C, kdy se vzorek při výpalu prodloužil a při teplotách 950 °C a 1050 °C došlo ke smrštění vzorku. Během výpalu tak pravděpodobně došlo k výpalu lehčiv, zejména při teplotě 950 °C, kdy bylo smrštění výrazné.

U vzorků ze směsi Žopy ztráta hmotnosti s rostoucí teplotou výpalu rostla. Mezi teplotami 950 °C a 1050 °C došlo také k větším délkovým změnám a vzorek se prodloužil. Jelikož byla ztráta hmotnosti u těchto vzorků velice vysoká, musela směs obsahovat významné množství lehčiv a zároveň také malé množství látek, které při výpalu způsobily mírné nabobtnání.



Graf 9 Ztráta hmotnosti výpalem v závislosti na teplotě výpalu vzorků ZL, Z a S

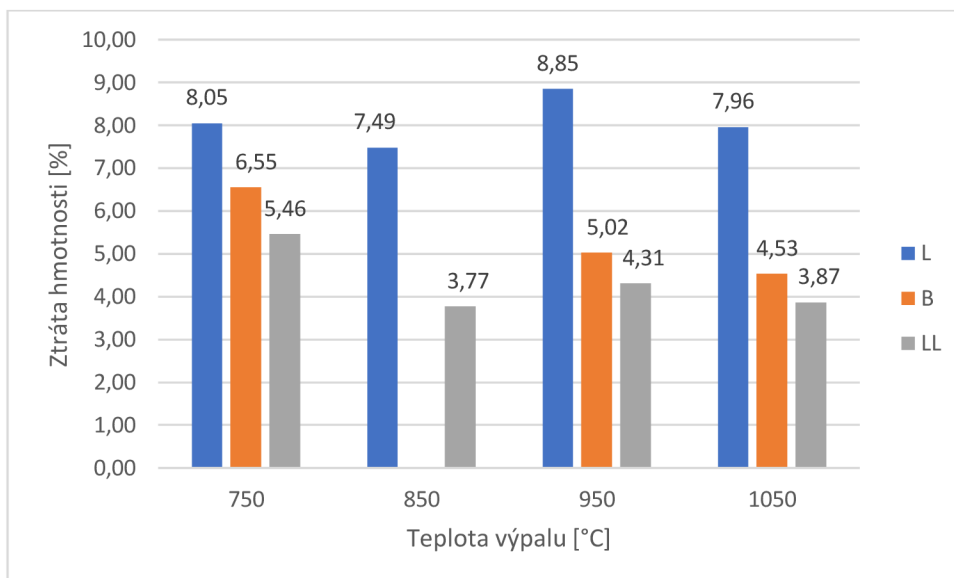


Graf 10 Délkové změny v závislosti na teplotě výpalu vzorků ZL, Z a S

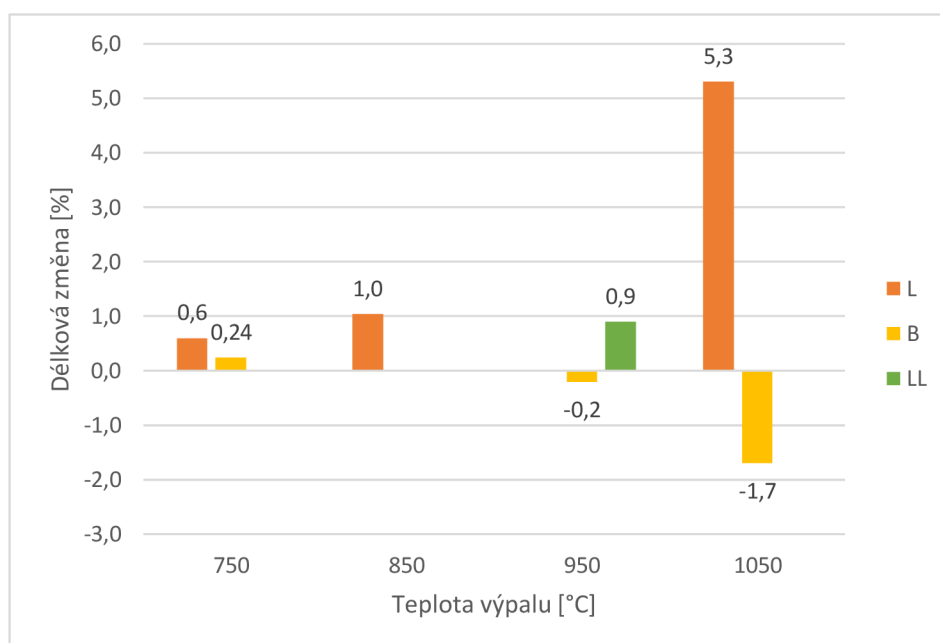
Z druhého grafu je patrné, že u všech tří směsí s rostoucí teplotou výpalu docházelo k větší ztrátě hmotností. Všechny tři směsi tedy pravděpodobně obsahovaly v určité míře lehčiva. V největším množství to byly vzorky ze směsi Šitbořice, jejichž hmotnostní ztráty byly velmi vysoké.

U směsi Zlín-lícovka došlo nejprve při 750 °C k prodloužení a při 950 °C došlo k maximální délkové změně a vzorek se zkrátil. Pravděpodobně tedy opravdu obsahoval lehčiva, jejichž výpalem se snižovala hmotnost a také docházelo s rostoucí teplotou ke smrštění. Vzorek ze směsi Zlín se při teplotě výpalu 850 °C mírně prodloužil o 0,2%.

Vzorky ze směsi Šitbořice měly mezi teplotami výpalu 750 °C a 950 °C rostoucí prodloužení. Při teplotě 1050 °C poté prodloužení kleslo. Bylo to pravděpodobně způsobeno obsahem vápence, který při výpalu vytvářel anortit a ten způsoboval mírné nabobtnání a při teplotě 1050 °C nejspíš došlo k výpalu dalších lehčiv, které způsobily snížení prodloužení.



Graf 11 Ztráta hmotnosti výpalem v závislosti na teplotě výpalu vzorků L, LL a B



Graf 12 Délkové změny v závislosti na teplotě výpalu vzorků L, B a LL

Na posledním grafu lze vyčíst, že směs Polom měla největší ztrátu hmotnosti během výpalu při teplotě 950 °C. Úbytek hmotnosti nejprve mezi 750 °C a 850 °C klesl, poté vzrostl na maximální hodnotu a nakonec při 1050 °C opět klesl. Délkové změny během výpalu s rostoucí teplotou výpalu rostly, docházelo k prodloužení a maximální hodnoty dosáhly při 1050 °C. Směs pravděpodobně obsahovala lehčiva, které během výpalu vyhořivala a docházelo tak k hmotnostním úbytkům. Jelikož docházelo současně ke zvětšujícímu se prodloužení s rostoucí teplotou výpalu, musela směs obsahovat i látky, které při výpalu nabobtnávaly.

Pro směsi Polom-lícovka a Bratronice ztráta hmotnosti s rostoucí teplotou výpalu klesala a minimální hodnoty dosáhla při 1050 °C. Dá se tedy předpokládat, že obě směsi obsahovaly látky, které s rostoucí teplotou výpalu vytvářely sloučeniny, které nabývaly na hmotnosti. Při teplotě 750 °C se vzorek směsi Bratronice prodloužil a poté s rostoucí teplotou výpalu docházelo k většímu smrštění. Vzorek ze směsi Zlín-lícovka vypálený při 950 °C se prodloužil o 0,9 %.

5.1.4 Náchylnost ke tvorbě výkvětů

Dále se posoudí náchylnost jednotlivých vzorků ke tvorbě výkvětů. Dále se navrhne přibližná teplota výpalu, při které by měl vypálený vzorek vhodnou barvu, nejnižší nasákavost a nejmenší sklon ke tvorbě výkvětů.



Obrázek 20 Výkvěty na vzorcích M

Z tohoto obrázku je patrné, že nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek ze směsi Vysoké Mýto vypálený při teplotě 950 °C a nejméně vzorek vypálený při teplotě 850 °C. U všech vzorků je patrné, že se výkvěty tvořily po celé ploše a měly bílou barvu. Po porovnání s výsledky nasákavosti směsi by bylo vhodné pro dosažení nejnižší nasákavosti a náchylnosti ke tvorbě výkvětů provádět výpal zhruba při teplotě 850 °C.



Obrázek 21 Výkvěty na vzorcích P

Na tomto obrázku je vidět, že nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek směsi Štěrboholy vypálený při teplotě 850 °C a nejméně při teplotě 1050 °C. Zde také docházelo ke tvorbě výkvětů na ploše vzorku a měly bílé zabarvení. Nejnižší nasákavost byla při teplotě výpalu 1050 °C a můžeme tedy odhadnout, že nejlepší by byla teplota výpalu kolem 950–1000 °C.



Obrázek 22 Výkvěty na vzorcích Z

Dle obrázku můžeme říct, že nejméně náchylný byl vzorek ze směsi Zlín vypálený při teplotě 1050 °C, který byl viditelně bez výkvětu a nejvíce náchylný byl vzorek při teplotě 750 °C. Takže vhodná odhadovaná teplota výpalu by byla kolem 1000 °C.



Obrázek 23 Výkvěty na vzorcích ZL

Z tohoto obrázku je patrné, že vzorky ze suroviny Zlín-lícovka byly málo náchylné ke tvorbě výkvětů. Nejvíce náchylný z nich byl vzorek vypálený při teplotě 950 °C a nejméně při teplotě 850 °C. Opět výkvěty po celé ploše s bílým zbarvením. Po srovnání s výsledky nasákavosti směsi by byla odhadovaná ideální teplota výpalu kolem 900 °C.



Obrázek 24 Výkvěty na vzorcích Ž

Na dalším obrázku máme vzorky směsi Žopy, na kterých můžeme vidět, že nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek vypálený při teplotě 750 °C a nejméně při teplotě 850 °C. Pro změnu u vzorku vypáleného při 1050 °C se výkvět nenacházel na celé ploše vzorku, ale spíše na jeho hraně. Zde také výkvěty s bílou barvou. Nasákavost směsi byla nejnižší při teplotě 1050 °C. Tedy odhadneme, že ideální teplota výpalu by byla 950 °C.



Obrázek 25 Výkvěty na vzorcích ze Šitbořic

Z tohoto obrázku je patrné, že vzorek směsi Šitbořice byl nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů při teplotě 950 °C a nejméně při teplotě 850 °C. Dále je vidět, že výkvěty se tvořily po celé ploše vzorků a měly bílé zbarvení. Po srovnání s výsledky nasákavosti by ideální teplota pro dosažení co nejnižší nasákavosti a náchylnosti ke tvorbě výkvětu byla zhruba 850 °C.



Obrázek 26 Výkvěty na vzorcích B

Na obrázku se vzorky směsi Bratronice můžeme vidět, že nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek vypálený při teplotě 750 °C a nejméně při teplotě 950 °C. Zde výkvěty vytvořily spíše skvrny a měly bílé zbarvení. Vzhledem k nasákavosti by byla ideální teplota výpalu pro dosažení nejnižší nasákavosti a náchylnosti 950 °C.



Obrázek 27 Výkvěty na vzorcích L

Jako další máme vzorky směsi Polom, které byly nejvíce náchylné při teplotě výpalu 750 °C a nejméně při teplotě 1050 °C. Vzorek vypálený při 1050 °C měl výkvěty na ploše, ostatní vzorky také, ale největší množství výkvětů bylo na hranách. Po srovnání s výsledky nasákavosti můžeme zvolit jako odhadovanou ideální teplotu výpalu zhruba 900 °C.



Obrázek 28 Výkvěty na vzorcích LL

Na posledním obrázku je patrné, že nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek směsi Polom-lícovka vypálený při teplotě výpalu 750 °C a nejméně vzorek vypálený při teplotě 1050 °C. Na vzorcích vypálených při teplotě 850 °C a 950 °C vznikly výkvěty žluté barvy. Po porovnání s výsledky nasákavosti směsi by pro dosažení nejnižší nasákavosti a náchylnosti ke tvorbě výkvětů bylo vhodné vzorky vypalovat zhruba při teplotě 1050 °C.

5.1.5 Vzlínavost

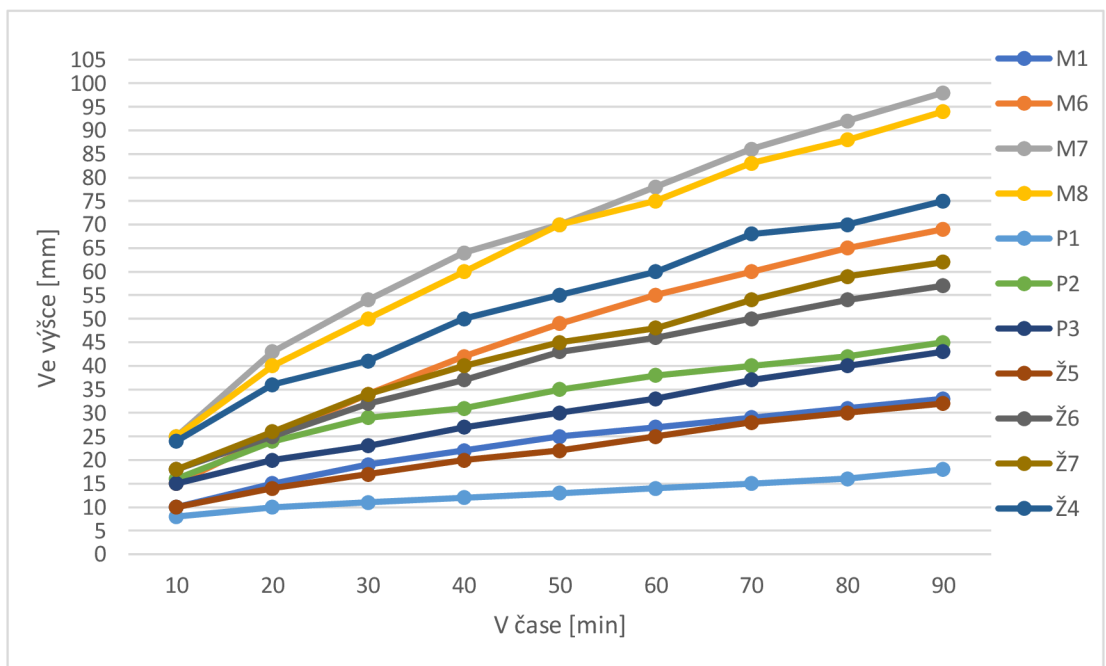
Dále se porovná vzlínavost směsí, podle jejich teplot výpalu. Vzlínavost patří mezi snadné metody odhalení teploty výpalu v kruhové peci, protože platí, že při rostoucí teplotě výpalu vzlínavost roste. Toto tvrzení si ověříme.

Vzlínavost		V čase [min]								
Vzorek		10	20	30	40	50	60	70	80	90
M1	Ve výšce [mm]	10	15	19	22	25	27	29	31	33
M6		15	25	34	42	49	55	60	65	69
M7		25	43	54	64	70	78	86	92	98
M8		25	40	50	60	70	75	83	88	94
P1		8	10	11	12	13	14	15	16	18
P2		16	24	29	31	35	38	40	42	45
P3		15	20	23	27	30	33	37	40	43
Ž5		10	14	17	20	22	25	28	30	32
Ž6		18	25	32	37	43	46	50	54	57
Ž7		18	26	34	40	45	48	54	59	62
Ž4		24	36	41	50	55	60	68	70	75
ZL1		8	10	11	12	12	13	14	15	15
ZL2		10	14	19	24	27	31	34	38	41
ZL3		14	19	25	30	34	37	41	45	48
ZL4		15	22	27	33	37	40	43	45	47
Z1		15	20	24	28	30	33	35	38	40
Z2	26	40	50	59	65	71	76	81	85	
Z3	30	46	56	65	70	77	84	90	94	
Z8	50	55	60	65	74	80	85	90	95	

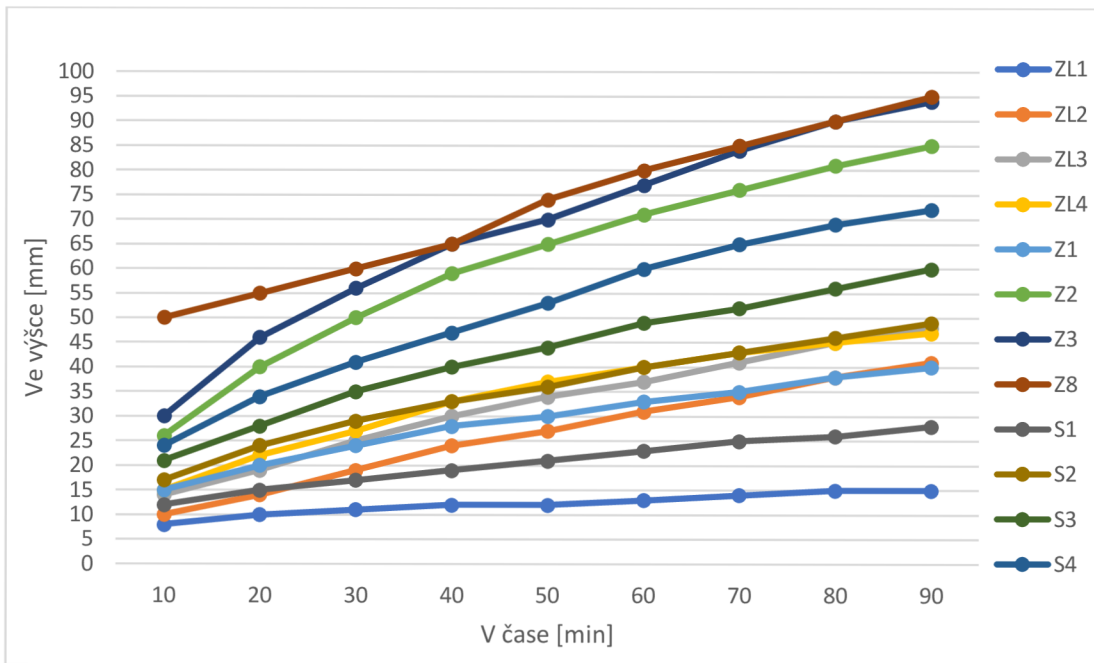
Tabulka 16 Vzlínavost vzorků M, P, Ž, ZL a Z

Vzlínavost		V čase [min]								
Vzorek		10	20	30	40	50	60	70	80	90
S1	Ve výšce [mm]	12	15	17	19	21	23	25	26	28
S2		17	24	29	33	36	40	43	46	49
S3		21	28	35	40	44	49	52	56	60
S4		24	34	41	47	53	60	65	69	72
B1		5	9	10	11	15	16	18	22	24
B4		8	11	15	16	18	21	23	26	28
B5		15	23	26	30	36	40	43	46	50
B7		20	30	35	40	46	52	55	58	60
L2		14	20	26	32	38	43	47	50	55
L4		24	38	45	50	60	68	75	80	85
L6		28	53	65	75	94	102	110	118	130
L7		35	60	65	75	85	90	95	105	110
LL5		22	46	55	62	75	88	95	102	108
LL1		8	15	18	22	25	28	30	32	34
LL3		10	12	15	16	18	20	23	25	26
LL4		20	33	36	44	50	55	60	60	64

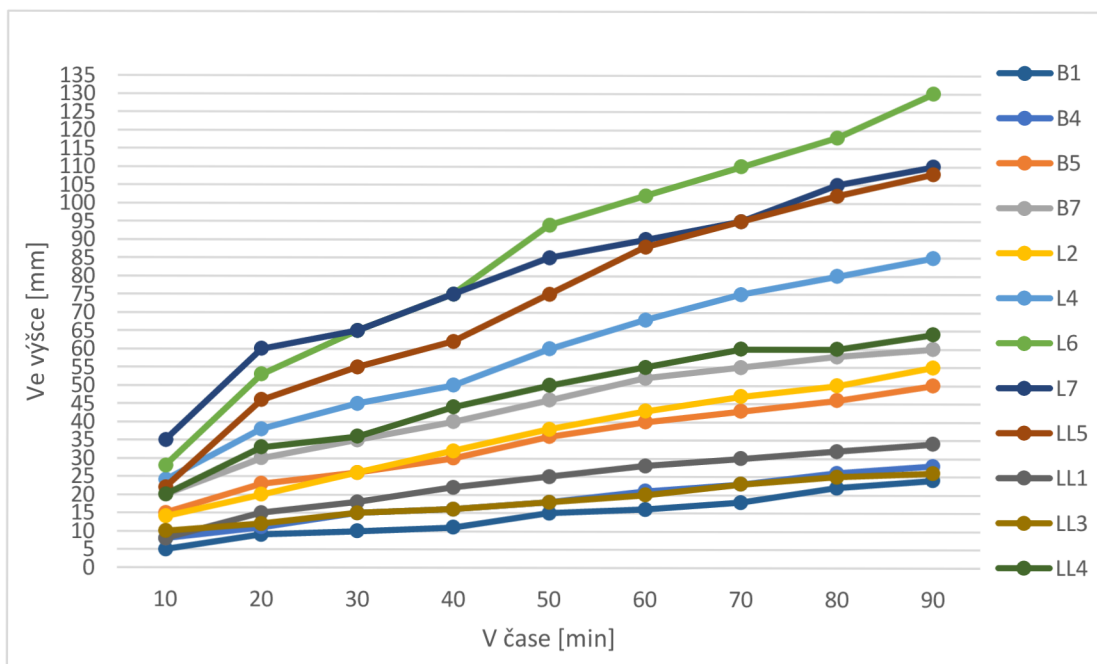
Tabulka 17 Vzlínavost vzorků S, B, L a LL



Graf 13 Vzlínavost vzorků M, P a Ž



Graf 14 Vzlínavost vzorků ZL, Z a S



Graf 15 Vzlínavost vzorků B, L a LL

Dle naměřených hodnot a vyhotovených grafů je patrné, že vzlínavost opravdu ve většině s rostoucí teplotou výpalu roste. Tento předpoklad je založený na skutečnosti, že s rostoucí teplotou výpalu by měla růst pórovitost (obsah otevřených pórů). Z toho důvodu u směsí, u kterých byl největší obsah otevřených pórů při jiné teplotě k tomu nedošlo. Pro směsi z Vysokého Mýta, Zlína a Polomi k tomu došlo při 950 °C, pro směs Polom-lícovka při 750 °C a Štěrboholy při 850 °C.

5.1.6 Stanovení mrazuvzdornosti

Mrazuvzdornost se stanovila přímou metodou a nepřímo pomocí KNS.

5.1.6.1 Mrazuvzdornost stanovená přímo

Nasáknuté vzorky se vloží do mrazícího zařízení s teplotou $-20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ na 16 hodin. Poté se vzorky vyndají a rozmrazují v nádobě s vodou o teplotě $+15$ až $+30\text{ °C}$ po dobu nejméně 2 hodin. Každých 5 cyklů se vzorky zkontrolují a tento postup se opakuje po dobu 15 ti cyklů. Nakonec se vyhodnotí jejich mrazuvzdornost.

Vzorek	Počet cyklů	Mrazuvzdornost	Kategorie mrazuvzdornosti	
			Označení	Prostředí
M1	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
M6	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
M7	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
M8	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
P1	3	nemrazuvzdorný	F0	neagresivní
P2	11	nemrazuvzdorný	F0	neagresivní
P3	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
P8	10	nemrazuvzdorný	F0	neagresivní
Ž5	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
Ž6	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
Ž7	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
Ž4	2	nemrazuvzdorný	F0	neagresivní
ZL1	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
ZL2	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
ZL3	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
ZL4	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
Z1	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
Z2	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
Z3	15	mrazuvzdorný	F1	mírně agresivní
Z8	12	nemrazuvzdorný	F0	neagresivní

Tabulka 18 Vyhodnocení mrazuvzdornosti vzorků M, P, Ž, ZL a Z

Vzorek	Počet cyklů	Mrazuvzdornost	Kategorie mrazuvzdornosti	
			Označení	Prostředí
S1	12	nemrazuvzdorné	F0	neagresivní
S2	10	nemrazuvzdorné	F0	neagresivní
S3	15	mrazuvzdorné	F1	mírně agresivní
S4	15	mrazuvzdorné	F1	mírně agresivní
B1	15	mrazuvzdorné	F1	mírně agresivní
B4	15	mrazuvzdorné	F1	mírně agresivní
B5	15	mrazuvzdorné	F1	mírně agresivní
B7	8	nemrazuvzdorné	F0	neagresivní
L2	13	nemrazuvzdorné	F0	neagresivní
L4	15	mrazuvzdorné	F1	mírně agresivní
L6	15	mrazuvzdorné	F1	mírně agresivní
L7	15	mrazuvzdorné	F1	mírně agresivní
LL5	2	nemrazuvzdorné	F0	neagresivní
LL1	15	mrazuvzdorné	F1	mírně agresivní
LL3	15	mrazuvzdorné	F1	mírně agresivní
LL4	14	nemrazuvzdorné	F0	neagresivní

Tabulka 19 Vyhodnocení mrazuvzdornosti vzorků S, B, L a LL



Obrázek 29 Vzorky M po zkoušce mrazuvzdornosti



Obrázek 30 Vzorky P po zkoušce mrazuvzdornosti



Obrázek 31 Vzorky Ž po zkoušce mrazuvzdornosti



Obrázek 32 Vzorky ZL po zkoušce mrazuvzdornosti



Obrázek 33 Vzorky Z po zkoušce mrazuvzdornosti



Obrázek 34 Vzorky B po zkoušce mrazuvzdornosti



Obrázek 35 Vzorky L po zkoušce mrazuvzdornosti



Obrázek 36 Vzorky LL po zkoušce mrazuvzdornosti

Dle vyhotovené tabulky a přiložených fotografií je patrné, že většina vzorků odolala vystavení 15 ti zmrazovacím cyklům, a tedy nedošlo k jejich porušení, které by bylo větší, než povoluje norma. Mezi vzorky, které nevyhověly, patří vzorky ze směsi Štěrboholy vypálené při teplotě 750 °C a 850 °C, u kterých došlo ke drolení po celé ploše, u vzorku vypáleného při 750 °C to bylo až extrémní. Dále pak vzorky ze směsi Štěrboholy, Zlín, Bratronice a Polom-lícovka, které byly vypáleny při teplotě 1050 °C a u nichž došlo k prasknutí. U vzorků směsi Šitbořice vypálených při 750 °C a 850 °C a vzorku Polom s teplotou výpalu 850 °C došlo k odlupování jen na určitých místech do hloubky větší než 5 mm. Nakonec vzorek ze směsi Žopy s teplotou výpalu 1050 °C a vzorek ze směsi Polom-lícovka s teplotou výpalu 750 °C se rozlomily.

5.1.6.2 Stanovení mrazuvzdornosti pomocí KNS

Mrazuvzdornost se odhadla i nepřímou metodou pomocí koeficientu nasycení střepe (KNS), který se vypočítal jako poměr nasákavosti za studena po 24 hodinách a nasákavosti varem po 5 hodinách. Výsledný poměr se poté informativně vyhodnotil dle Tabulky 20.

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

Tabulka 20 Vyhodnocení koeficientu nasycení střepe (KNS) [38]

Vzorek	NV ₂₄	NV _{var}	KNS	Vyhodnocení
M1	15,4	17,3	0,89	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
M6	15,1	18,4	0,82	nejistá mrazuvzdornost
M7	15,7	19,9	0,79	nejistá mrazuvzdornost
M8	11,2	15,1	0,74	vysoká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
P1	16,8	16,6	1,02	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
P2	14,6	15,2	0,96	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
P3	9,2	9,7	0,95	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
P8	3,0	4,4	0,68	vysoká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
Z1	17,6	18,7	0,94	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
Z2	16,4	17,9	0,92	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
Z3	15,5	18,5	0,84	nejistá mrazuvzdornost
Z8	10,7	16,4	0,65	vysoká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
ZL1	11,5	11,9	0,96	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
ZL2	10,1	10,6	0,96	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
ZL3	7,4	8,5	0,87	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
ZL4	4,5	7,6	0,59	vysoká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
Ž5	19,9	21,5	0,93	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
Ž6	21,6	22,2	0,97	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
Ž7	21,0	21,9	0,96	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
Ž4	12,0	18,5	0,65	vysoká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu

Tabulka 21 Vyhodnocení koeficientu nasycení vzorků M, P, Z, ZL a Ž

Vzorek	NV ₂₄	NV _{var}	KNS	Vyhodnocení
S1	20,2	21,7	0,93	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
S2	22,4	24,7	0,91	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
S3	22,0	24,8	0,88	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
S4	20,5	25,0	0,82	nejistá mrazuvzdornost
B1	14,4	16,1	0,90	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
B4	14,0	15,3	0,92	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
B5	13,5	15,6	0,87	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
B7	9,7	11,9	0,82	nejistá mrazuvzdornost
L2	13,9	15,7	0,89	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
L4	13,9	16,2	0,86	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
L6	14,2	17,3	0,82	nejistá mrazuvzdornost
L7	8,8	14,1	0,62	vysoká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
LL5	12,7	13,6	0,93	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
LL1	12,3	13,3	0,92	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
LL3	12,2	13,5	0,90	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
LL4	8,8	11,3	0,77	nejistá mrazuvzdornost

Tabulka 22 Vyhodnocení koeficientu nasycení vzorků S, B, L a LL

Z výsledné tabulky je patrné, že většina vzorků byla vyhodnocena jako nejspíše nemrazuvzdorná. U vzorků ze směsi z Vysokého Mýta vypálených při teplotě 850 °C a 950 °C byla vyhodnocena nejistá mrazuvzdornost. Stejně jako u vzorku ze Zlína vypáleného při 850 °C a vzorku z Polomi s teplotou výpalu 950 °C. Vzorky směsi Šitbořice, Bratronice a Polom-líčovka byly také vyhodnoceny s nejistou mrazuvzdorností. Vzorky z Vysokého Mýta, Štěrbohl, Zlína-líčovky, Žopů a Zlína vypálené při teplotě 1050 °C by dle vyhodnocení měly být s vysokou pravděpodobností mrazuvzdorné. Jelikož byla vyhodnocena mrazuvzdornost i přímou metodou, tak si můžeme ověřit, zda vzorky, které pomocí KNS vyšly nejspíše mrazuvzdorné, opravdu mrazuvzdorné byly. Tuto podmínku splnily jen vzorky z Vysokého Mýta, Zlína-líčovky a Polomi vypálené při teplotě 1050 °C.

5.1.7 Pevnost v tahu za ohybu

Třibodová zkouška se provede na zkušebním vzorku o rozměrech 20 x 50 x 100 mm, který se uloží do zkušebního zařízení se vzdáleností podpěr 70 mm. Výsledná pevnost se poté vypočte ze vzorce:

$$\sigma_p = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^3} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

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

l ... osová vzdálenost podpěr [mm]

b ... šířka vzorku [mm]

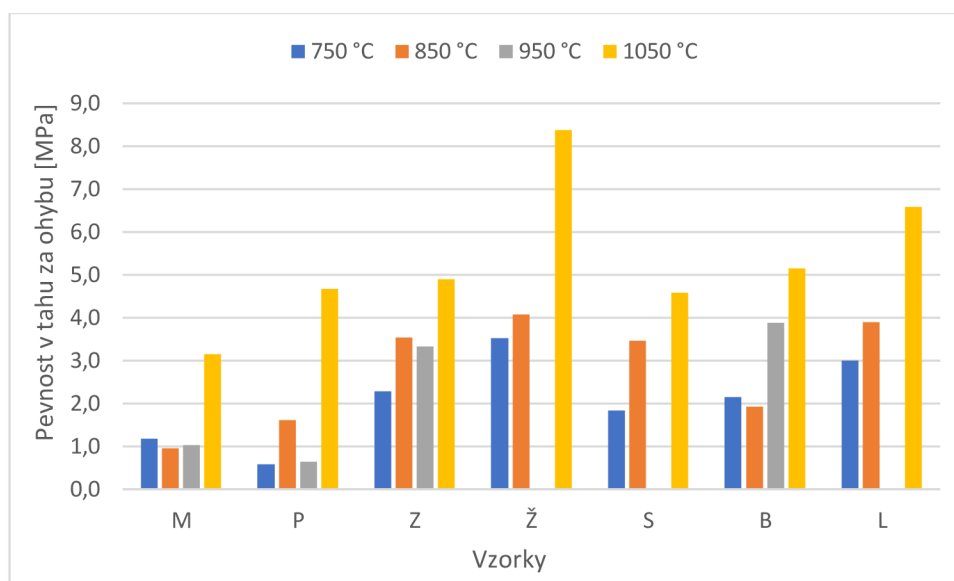
h ... tloušťka vzorku [mm]

Vzorek	b	h	l	F _{ohyb}	σ _p
	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
M5	68,68	65,78	100,00	2,35	1,2
M2	60,05	65,54	100,00	1,65	1,0
M3	59,69	65,39	100,00	1,75	1,0
M4	63,17	64,07	100,00	5,45	3,2
P5	70,46	65,06	100,00	1,2	0,6
P6	71,24	65,71	100,00	3,3	1,6
P7	64,55	63,07	100,00	1,1	0,6
P4	57,09	61,87	100,00	6,8	4,7
Z5	60,76	62,34	100,00	3,6	2,3
Z6	61,99	61,95	100,00	5,6	3,5
Z7	60,28	61,20	100,00	5,0	3,3
Z4	71,08	62,94	100,00	9,2	4,9
Ž1	67,31	60,11	100,00	5,7	3,5
Ž2	60,99	60,72	100,00	6,1	4,1
Ž8	61,79	60,19	100,00	12,5	8,4
S5	60,76	62,34	100,00	2,9	1,8
S6	61,99	61,95	100,00	5,5	3,5
S8	60,28	61,20	100,00	6,9	4,6

Tabulka 23 Pevnost v tahu za ohybu vzorků M, P, Z, Ž a S

Vzorek	b	h	l	F _{ohyb}	σ _p
	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
B2	68,67	65,23	100,00	4,2	2,2
B3	69,28	65,42	100,00	3,8	1,9
B6	69,55	64,95	100,00	7,6	3,9
B8	71,64	64,12	100,00	10,1	5,1
L3	68,33	61,66	100,00	5,2	3,0
L5	63,89	60,62	100,00	6,1	3,9
L8	67,40	60,74	100,00	10,9	6,6

Tabulka 24 Pevnost v tahu za ohybu vzorků B a L



Graf 16 Pevnost v tahu za ohybu vzorků

Z grafu lze vyčíst, že směs Vysoké Mýto měla nejvyšší pevnost v tahu za ohybu při teplotě výpalu 1050 °C. Po porovnání s objemovými hmotnostmi lze vidět, že s rostoucí objemovou hmotností rostla pevnost v tahu za ohybu. Směs z Vysokého Mýta byla vápenatá a docházelo tedy ke vzniku anortitu, a proto mezi teplotami 750 °C a 950 °C nedocházelo k výrazným změnám objemové hmotnosti, nasákavosti ani pevnosti v tahu za ohybu. Při 1050 °C došlo pravděpodobně k počátku slinování, a to ovlivnilo růst pevnosti.

Jako další lze vyčíst, že pro vzorky ze směsi Štěrboholy nastala nejvyšší pevnost v tahu za ohybu při teplotě výpalu 1050 °C. Při této teplotě vzorek neměl sice nejvyšší objemovou hmotnost, zato ale měl nejnižší pórovitost. Během výpalu došlo k vysokému smrštění a zhutnění struktury a díky tomu dosáhl nejvyšší pevnosti.

Vzorky ze směsi Zlín dosáhly stejného výsledku jako vzorky ze Štěrbohol a to tedy, že nejvyšší pevnost v tahu za ohybu nastala při teplotě výpalu 1050 °C, a to bylo způsobeno hutnější strukturou.

Směs Žopy měla také nejvyšší pevnost v tahu za ohybu při teplotě 1050 °C a dosáhla nejvyšší hodnoty pevnosti ze všech vzorků. Pevnost v tahu za ohybu rostla společně s teplotou výpalu. Ani zde nedošlo ke zvyšování pevnosti vlivem rostoucí objemové hmotnosti, ale vlivem snižující se pórovitosti. Během výpalu vznikl anortit, nedocházelo tedy k téměř žádným délkovým změnám a zhutnění struktury, což zvýšilo pevnost v tahu za ohybu.

Pro směs ze Šitbořic došlo ke stejnému vyhodnocení a tedy, že pevnost v tahu za ohybu s rostoucí teplotou výpalu rostla a maximální hodnoty dosáhla při 1050 °C. Zde opět došlo vlivem rostoucí teploty výpalu ke snižování pórovitosti vlivem nabobtnáváním vzniklého anortitu, a to mělo za důsledek rostoucí pevnost v tahu za ohybu.

Vzorky vyrobené ze směsi Bratronice měly hodnoty pevnosti v tahu za ohybu odpovídající hodnotám objemových hmotností, docházelo tedy s rostoucí objemovou hmotností k růstu pevnosti. Maximální pevnost v tahu tedy nastala při 1050 °C. Jelikož objemová hmotnost i pevnost v tahu za ohybu s teplotou výpalu rostly, docházelo během výpalu ke zhutňování vzorku vlivem vysokého smršťování vzorku.

Jako poslední můžeme vyhodnotit směs z Polomi, u které opět došlo ke zvyšování pevnosti v tahu za ohybu s rostoucí teplotou výpalu. Zde nebylo dosaženo souvislosti mezi rostoucí pevností v tahu s objemovou hmotností, ale se snižující se pórovitostí.

5.1.8 Pevnost v tlaku

Zkouška se provede na polovinách zlomených zkušebních vzorků o rozměrech 20 x 20 mm, které se uloží do zatěžovacího přípravku se zatěžovacími plochami 20 x 20 mm. 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]

Vzorek	b	h	l	F _{tlak}	σ _{pd}	Ø σ _{pd}
	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
M5-1	65,64	67,65	64,07	60	13,5	13,8
M5-2	65,18	68,19	59,46	63	14,2	
M2-1	67,70	59,60	64,08	47	11,6	13,1
M2-2	64,92	59,54	70,17	56	14,5	
M3-1	67,06	61,58	65,09	43	10,4	10,3
M3-2	64,74	63,20	66,28	42	10,3	
M4-1	66,29	62,20	60,12	75	18,2	24,5
M4-2	63,36	61,41	62,69	120	30,8	
P5-1	63,26	68,65	65,31	36	8,3	7,6
P5-2	65,73	69,98	61,92	32	7,0	
P6-1	64,03	70,45	47,91	93	20,6	18,2
P6-2	64,18	70,82	68,41	72	15,8	
P7-1	63,71	64,22	55,12	32	7,8	12,3
P7-2	63,23	63,86	62,88	68	16,8	
P4	63,65	60,11	45,94	70	18,3	18,3
Z5-1	60,99	60,26	67,24	34	9,3	9,0
Z5-2	61,32	61,07	61,60	33	8,8	
Z6	61,04	60,92	84,91	31	8,3	8,3
Z7-1	59,77	59,46	65,83	30	8,4	7,9
Z7-2	61,63	60,23	61,65	27	7,3	
Z4-1	63,47	72,13	62,40	32	7,0	8,2
Z4-2	61,76	73,42	64,17	43	9,5	

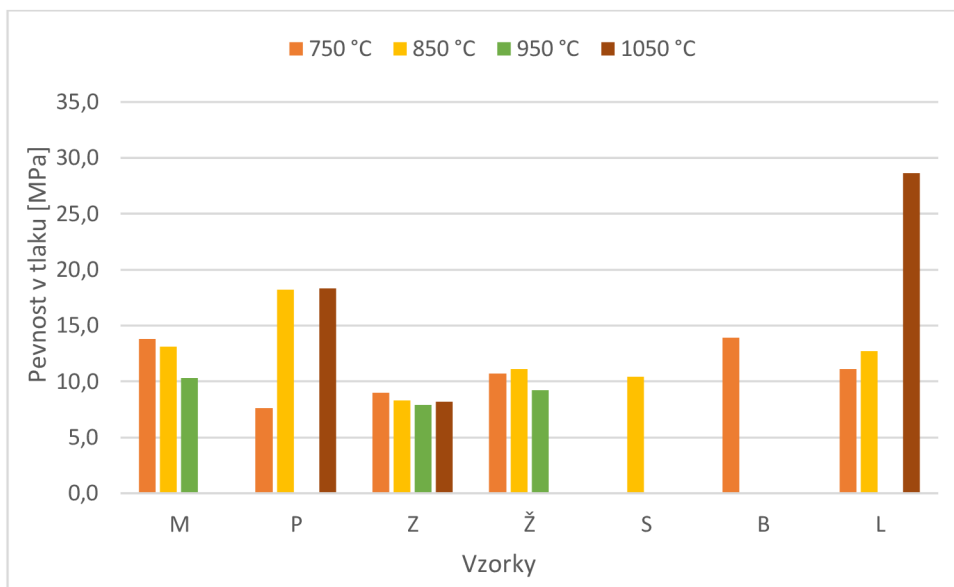
Tabulka 25 Pevnost v tlaku vzorků M, P a Z⁴

⁴ Pozn. Červené hodnoty značí průměrné hodnoty pevností v tlaku, jejichž dílčí pevnosti se pohybovaly řádově úplně jinde a nebylo přijatelné s nimi dále počítat.

Vzorek	b	h	l	F _{tlak}	σ _{pd}	Ø σ _{pd}
	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
Ž1-1	60,00	67,45	61,37	38	9,4	10,7
Ž1-2	60,09	67,08	57,30	48	11,9	
Ž2-1	61,49	59,64	64,64	40	10,9	11,1
Ž2-2	60,115	60,62	56,50	41	11,3	
Ž3-1	62,34	61,93	43,66	39	10,1	9,2
Ž3-2	59,81	62,06	79,53	31	8,4	
Ž8-1	60,79	59,24	63,72	54	15,0	21,8
Ž8-2	61,89	59,17	57,39	105	28,7	
S5-1	62,28	74,39	39,07	92	19,9	13,6
S5-2	63,12	74,92	84,49	35	7,4	
S6	63,24	74,62	107,38	49	10,4	10,4
S7-1	61,63	68,76	67,66	58	13,7	11,4
S7-2	62,87	69,075	68,62	34	7,8	
S8-1	62,17	61,57	40,74	57	14,9	21,1
S8-2	62,39	61,66	79,16	105	27,3	
B2-1	64,56	67,85	53,55	65	14,8	13,9
B2-2	65,24	67,32	61,66	57	13,0	
B3-1	66,56	67,99	33,60	124	27,4	23,8
B3-2	64,805	68,63	58,54	90	20,2	
B6-1	63,60	68,675	58,66	84	19,2	14,8
B6-2	65,015	63,93	68,70	43	10,3	
B8-1	65,28	70,61	37,31	123	26,7	23,0
B8-2	63,345	69,575	69,14	85	19,3	
L1	61,02	69,57	79,33	47	11,1	11,1
L3	61,485	69,17	78,4	54	12,7	12,7
L5-1	61,52	63,29	75,39	28	7,2	16,9
L5-2	61,015	64,79	26,365	105	26,6	
L8	31,30	63,73	68,48	57	28,6	28,6

Tabulka 26 Pevnost v tlaku vzorků Ž, S, B a L⁵

⁵ Pozn. Červené hodnoty značí průměrné hodnoty pevností v tlaku, jejichž dílčí pevnosti se pohybovaly řádově úplně jinde a nebylo přijatelné s nimi dále počítat.



Graf 17 Pevnost v tlaku vzorků

Z grafu pevnosti v tlaku je patrné, že vzorky ze směsi Vysoké Mýto měly s rostoucí teplotou výpalu snižující se pevnost v tlaku. To souviselo s výpalem lehčiv, snižující se objemovou hmotností a zvyšující se pórovitostí během výpalu.

Pro směs ze Štěrbohol to probíhalo obráceně než u směsi z Vysokého Mýta, a tedy s rostoucí teplotou výpalu pevnost v tlaku rostla. Rostoucí pevnost v tlaku byla ovlivněna velkým smršťováním a snižováním pórovitosti.

Vzorky ze směsi Zlín dosáhly nejvyšší pevnosti v tlaku při teplotě 750 °C a poté pevnosti klesly a s dalším zvyšováním teploty výpalu zůstaly zhruba na stejných hodnotách. Pevnost v tlaku souvisela s objemovou hmotností a jelikož ani u ní nedocházelo k velkým objemovým změnám během výpalu, obsahovala směs malé množství lehčiv, které by během výpalu vyhořivaly a snižovaly objemovou hmotnost a zvyšovaly nasákavost.

Průběh pevností v tlaku vzorků ze směsi Žopy zde opět závisel na objemové hmotnosti vzorku. Nejvyšší hodnoty pevnosti i objemové hmotnosti dosáhl vzorek vypálený při 850 °C, což bylo zapříčiněno pravděpodobně vznikem anortitu, který nabobtnal.

Pro směs Šitbořice a Bratronice se bohužel hodnotila jen jedna hodnota pevnosti v tlaku. U směsi Šitbořice vzorek vypálený při teplotě 850 °C s objemovou hmotností 1640 kg.m⁻³ dosáhl pevnosti 10,4 MPa. Vzorek směsi Bratronice vypálený při teplotě 750 °C dosáhl pevnosti v tlaku 13,9 MPa.

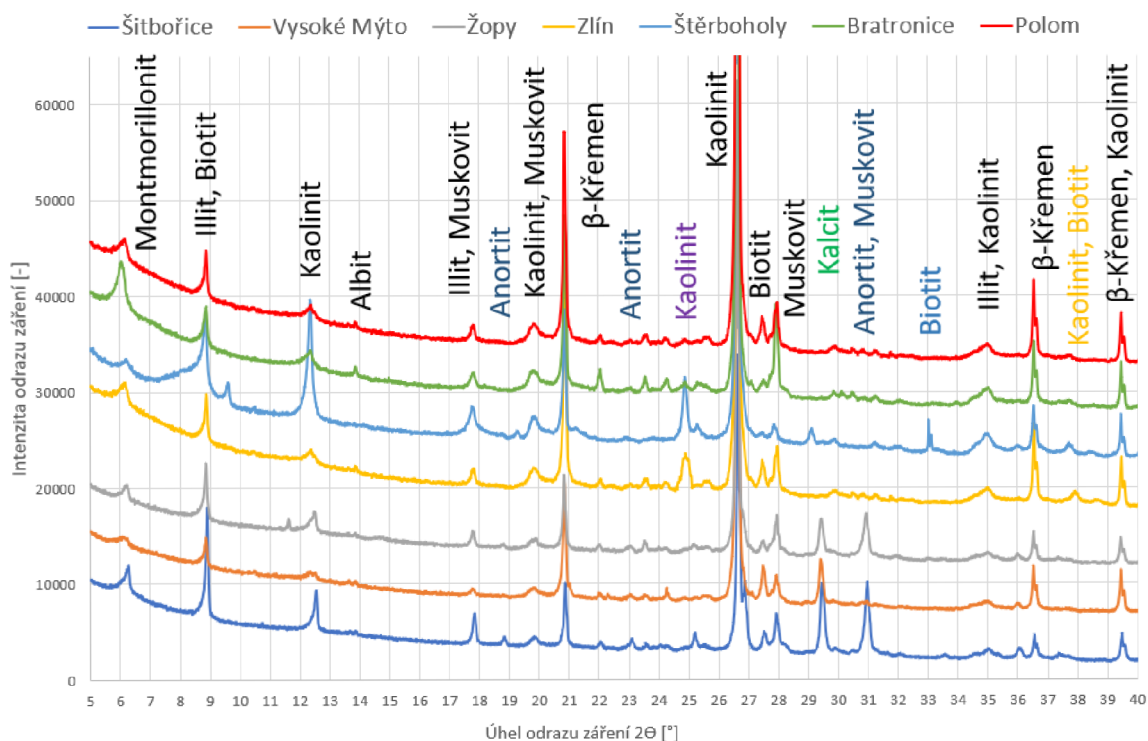
Jako poslední se z grafu vyhodnotí průběh pevností v tlaku vzorků ze směsi Polom. Pevnost v tlaku směsi s rostoucí teplotou výpalu rostla, a to bylo úměrné klesající objemové hmotnosti. Jelikož objemová hmotnost během výpalu klesala, ale zároveň se snižovala i nasákavost, tak docházelo ke zhutnění, a to mělo za následek zvyšující se pevnost v tlaku.

5.2 Zkoušení vlastností cihlářských zemin

Na zkoušených zeminách z různých cihelen se provedly analýzy RTG, DTA a TG a DKTA.

5.2.1 Rentgenová difrakční analýza (RTG)

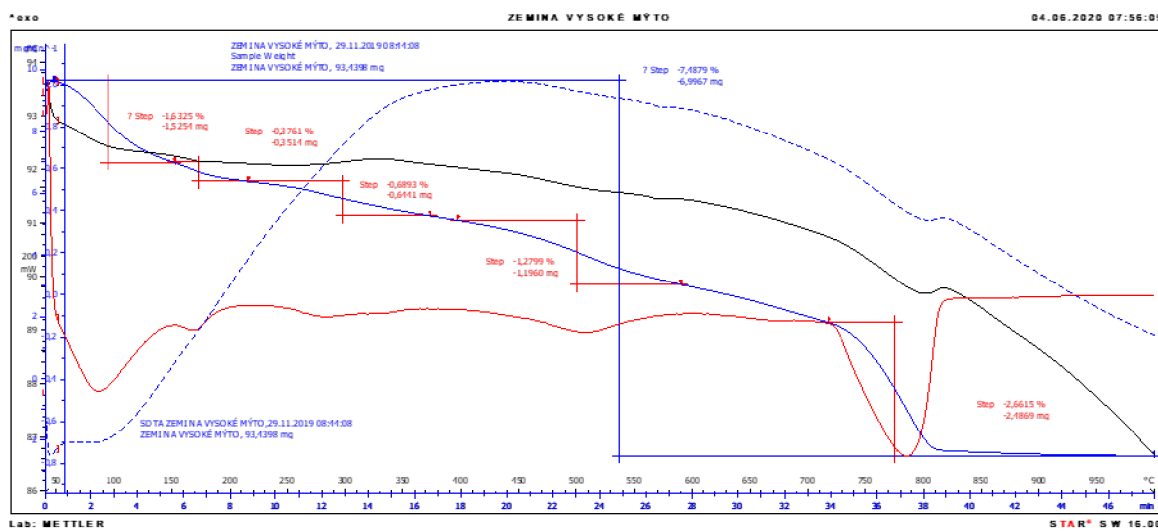
Pomocí RTG se stanovilo mineralogické složení zkoušených surovinových směsí.



Graf 18 RTG všech zkoušených zemin

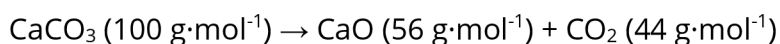
Zkoušené zeminy obsahují hlavně jílový nerost kaolinit a křemen. Dále pak obsahují další jílové nerosty illit a montmorillonit a nejílové albit, muskovit a biotit. Zeminy ze Šitbořic, Vysokého Mýta a Žopů obsahují navíc i kalcit. Surovinová směs ze Šitbořic a Žopů ještě k tomu obsahuje i anortit, z toho důvodu můžeme očekávat při DKTA, že nebude docházet k velkým objemovým změnám.

5.2.2 Diferenčně termická analýza (DTA)



Graf 19 DTA a TG křivky zeminy Vysoké Mýto

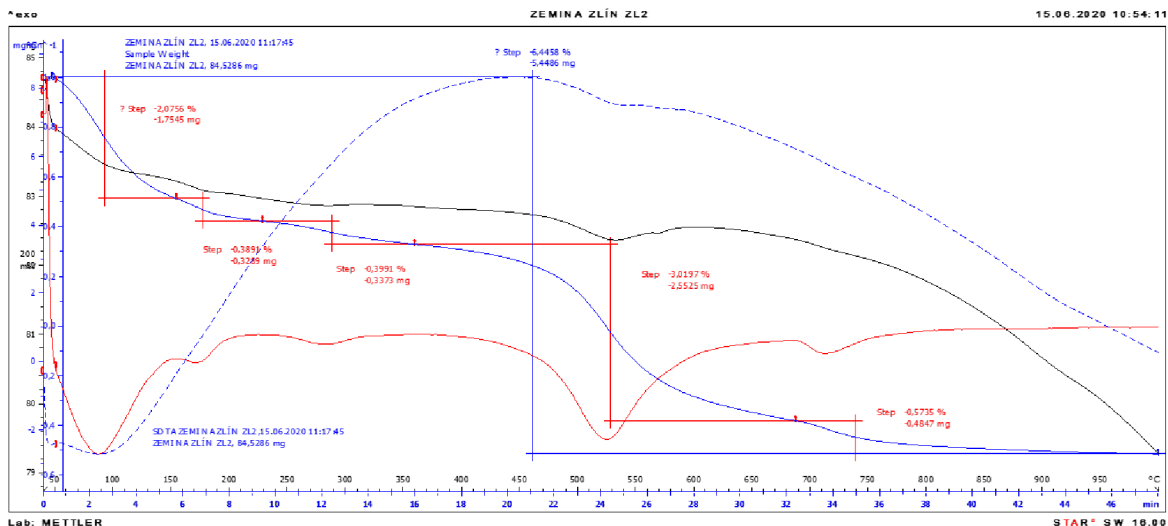
Z grafu DTA zeminy Vysoké Mýto je patrné, že v počátečních fázích výpalu došlo k dehydrataci, která končí kolem 180 °C. Mezi teplotami 450–600 °C dochází k dehydroxilaci jílových minerálů a při teplotách 720–850 °C nastala dekarbonatace vápence, která je způsobena uvolněním CO₂. Jelikož zde dochází k dekarbonataci vápence, musí se jednat o vápenatou zeminu, což si ověříme výpočtem množství vápence v zemině. Celková ztráta žíháním zeminy Vysoké Mýto byla 7,0 %.



$$m_{\text{CaCO}_3} = \frac{\Delta m}{44} \cdot 100 = \frac{2,5}{44} \cdot 100 = 5,7 \text{ mg}$$

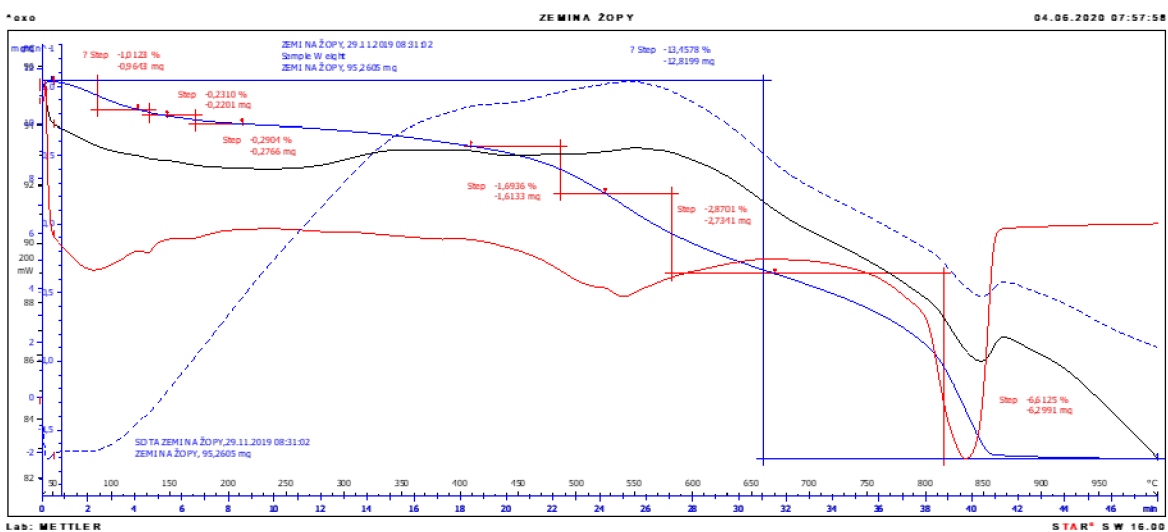
$$x = \frac{100 \cdot m_{\text{CaCO}_3}}{m} = \frac{100 \cdot 5,7}{93,44} = 6,1 \%$$

Z výpočtu vyšlo, že se zemina Vysoké Mýto skládala z vápence z 6,1 % a jednalo se tak skutečně o vápenatou zeminu.



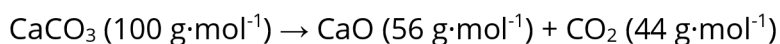
Graf 20 DTA a TG křivky zeminy Zlín

Z grafu DTA zeminy Zlín můžeme vyčíst, že dochází k dehydrataci až do teploty kolem 200 °C. Mezi teplotami 400–650 °C dochází k dehydroxilaci jílových minerálů. Zde k dekarbonatci vápence nedošlo, tedy se nejedná o vápenatou zeminu. Celková ztráta žiháním byla 5,4 %.



Graf 21 DTA a TG křivky zeminy Žopy

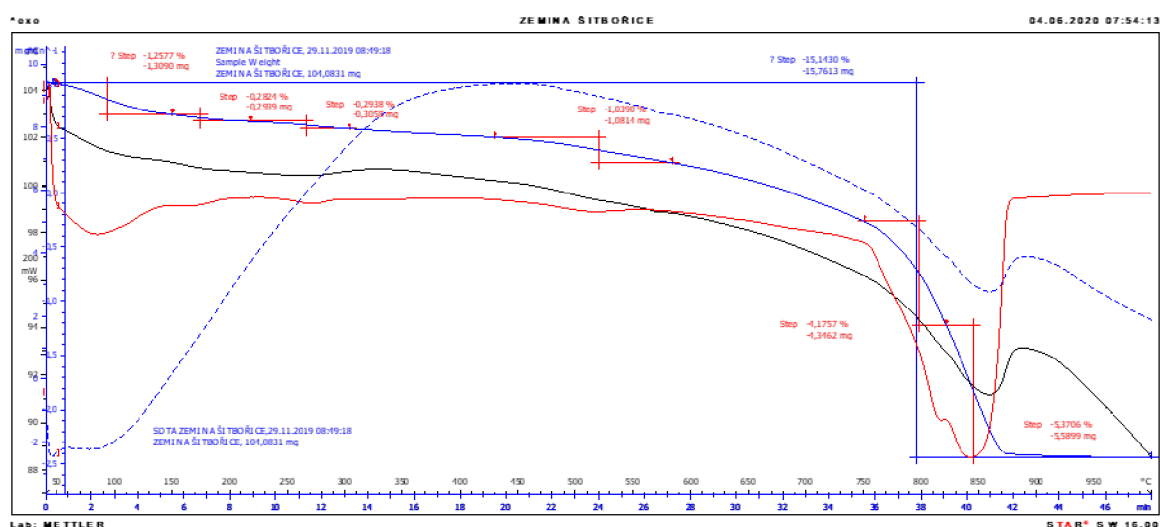
Z uvedeného grafu je patrné, že z kraje výpalu došlo nejprve k dehydrataci, která končí kolem 180 °C. Mezi teplotami 480–600 °C dochází k dehydroxilaci jílových minerálů a při teplotách 750–850 °C je viditelná dekarbonatace vápence. Jelikož zde dochází k dekarbonatci vápence, musí se jednat o vápenatou zeminu, což si ověříme výpočtem množství vápence v zemině. Celková ztráta žiháním zeminy Žopy byla 13,5 %.



$$m_{\text{CaCO}_3} = \frac{\Delta m}{44} \cdot 100 = \frac{6,3}{44} \cdot 100 = 14,4 \text{ mg}$$

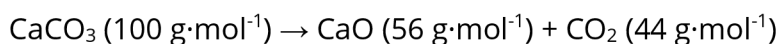
$$x = \frac{100 \cdot m_{\text{CaCO}_3}}{m} = \frac{100 \cdot 14,4}{95,26} = 15,1 \%$$

Ve výpočtu vyšlo, že zemina obsahovala vápence z 15,1 %. Tedy se opravdu jednalo o vápenatou zeminu.



Graf 22 DTA a TG křivky zeminy Šitbořice

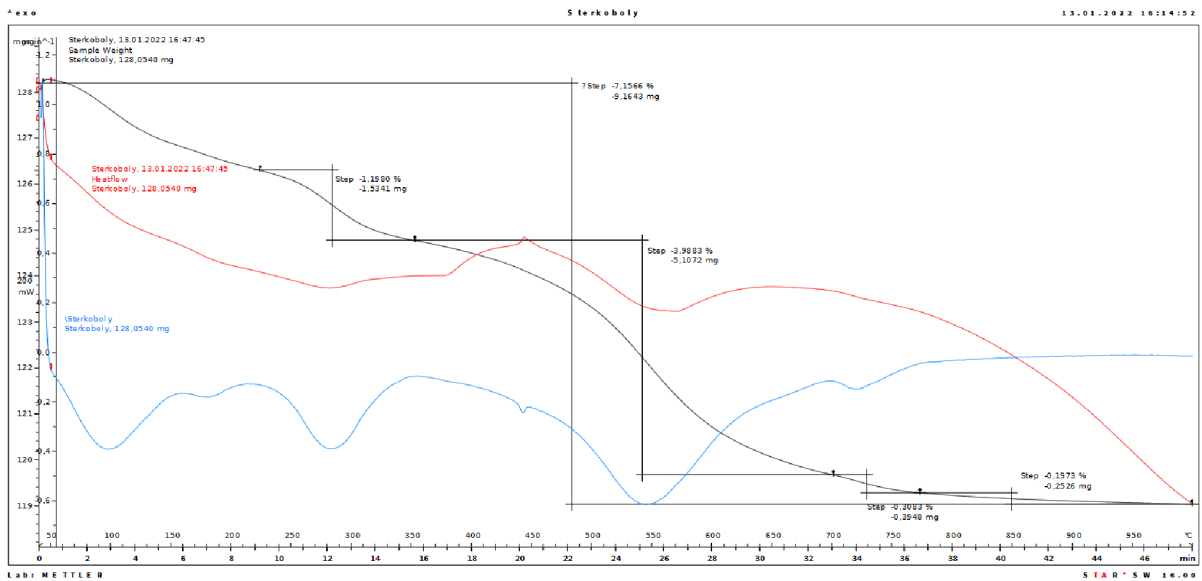
Na posledním grafu je znázorněna křivka DTA a TG zeminy Šitbořice, ze kterých můžeme vyčíst, že opět došlo nejprve k dehydrataci do 180 °C poté k mírné dehydroxilaci jílových minerálů kolem teplot 450–600 °C. Mezi teplotami 750 °C a 880 °C je viditelný průběh dekarbonatace vápence, tedy se opět jedná o vápenatou zeminu. Celková ztráta žíháním zeminy Šitbořice byla 15,8 %.



$$m_{\text{CaCO}_3} = \frac{\Delta m}{44} \cdot 100 = \frac{9,9}{44} \cdot 100 = 22,5 \text{ mg}$$

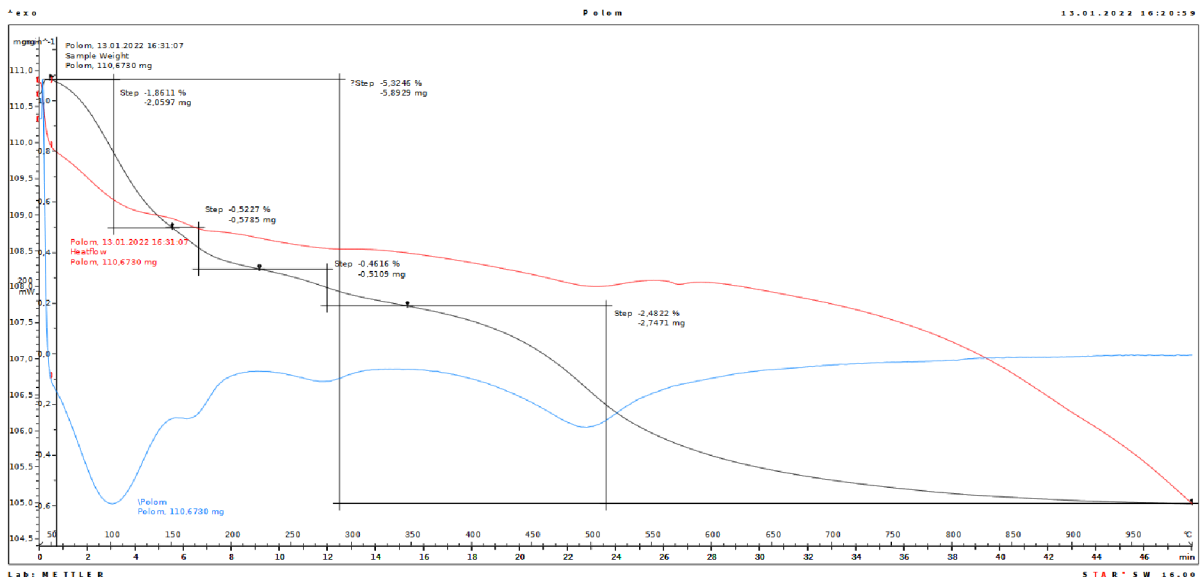
$$x = \frac{100 \cdot m_{\text{CaCO}_3}}{m} = \frac{100 \cdot 22,5}{104,08} = 21,6 \%$$

Zemina ze Šitbořic byla opravdu vysoce vápenatá a obsahovala 21,6 % vápence.



Graf 23 DTA a TG křivky zeminy Štěrboholy

Z uvedeného grafu je patrné, že z kraje výpalu zeminy Štěrboholy došlo nejprve k dehydrataci, která končí kolem 200 °C. Mezi teplotami 220–350 °C dochází k výraznému uvolňování prchavých hořlavých látek. Mezi teplotami 400–600 °C došlo k dehydroxilaci jílových minerálů. Jelikož zde nedochází k dekarbonatci vápence, nejedná se o vápenatou zeminu. Celková ztráta žíháním zeminy Štěrboholy byla 9,2 %.

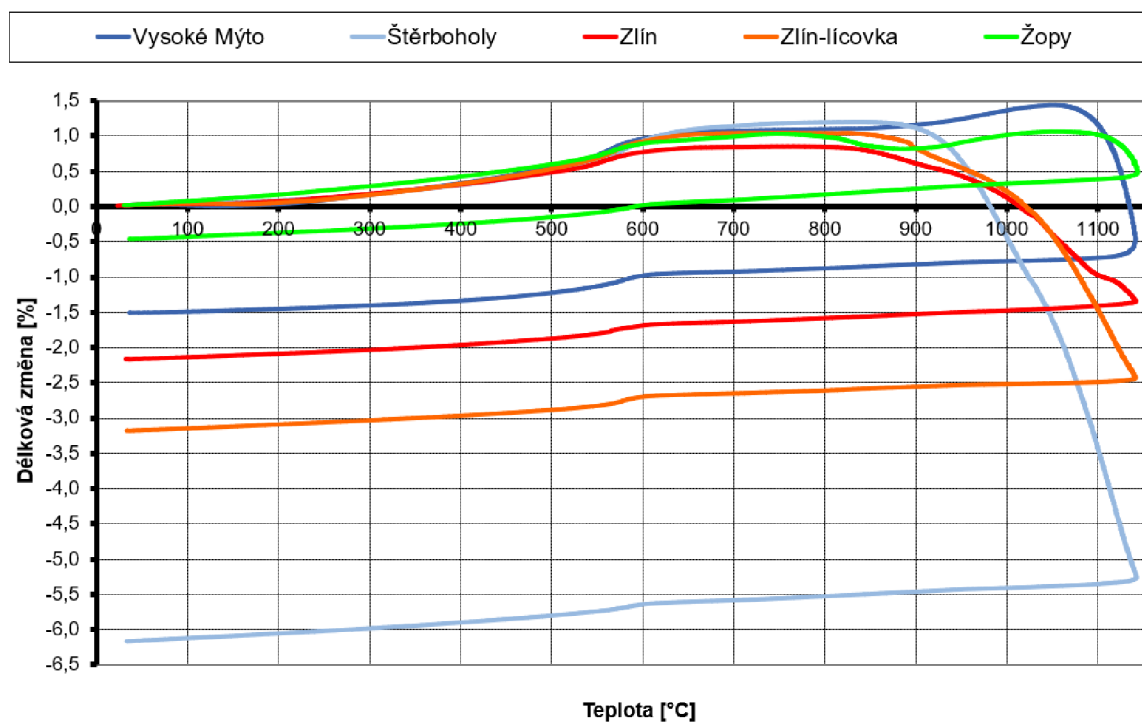


Graf 24 DTA a TG křivky zeminy Polom

Z uvedeného grafu DTA zeminy Polom je vidět, že na počátku vypalování do zhruba 200 °C došlo k dehydrataci. Mezi teplotami 220–320 °C nastalo uvolňování prchavých hořlavých látek a mezi teplotami 350–600 °C dochází k dehydroxilaci jílových minerálů. Protože zde během výpalu nedochází k dekarbonataci vápence, nejedná se tedy o vápenatou zeminu. Celková ztráta žiháním zeminy Polom byla 5,3 %.

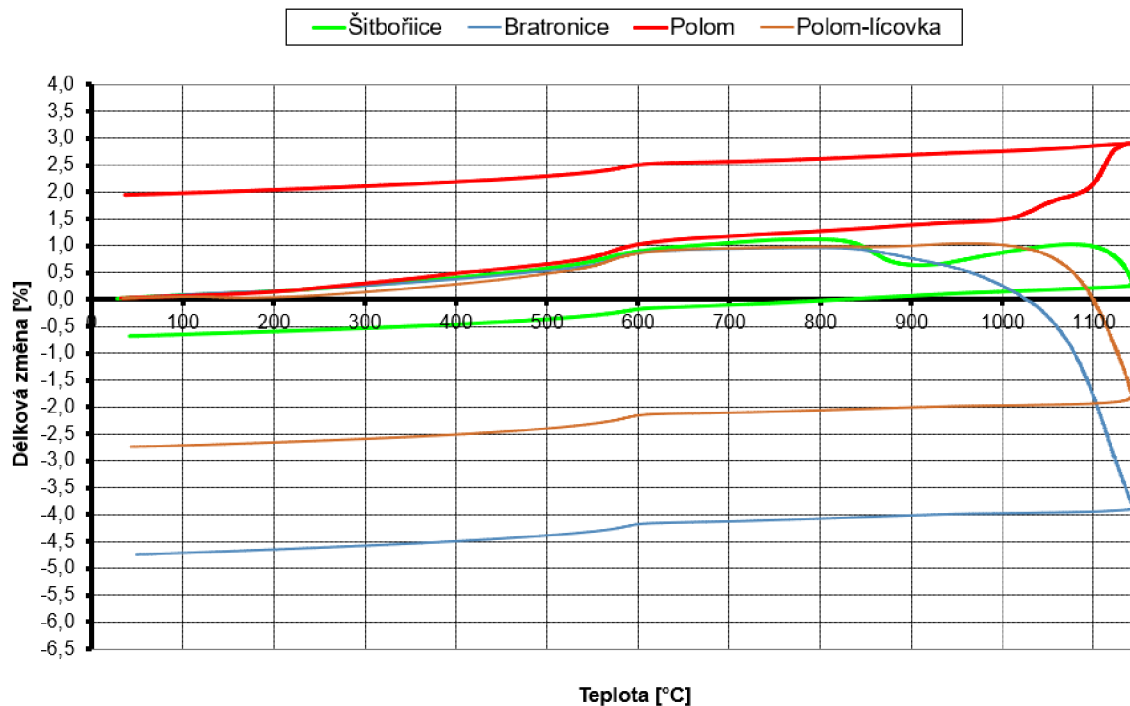
5.2.3 Kontrakčně dilatační termická analýza (KDTA)

Pro posouzení objemových změn při výpalu vzorků z různých směsí se provedla kontrakčně dilatační termická analýza (KDTA), která se poté vyhodnotila.



Graf 25 DKTA zemin Vysoké Mýto, Štěrboholy, Zlín, Zlín-lícovka a Žopy

Z grafu DKTA lze vyčíst, že největších délkových změn dosáhl vzorek ze zeminy ze Štěrbohol, u kterého došlo ke smrštění až o 6,16 %. Dále pak vzorek Zlín-lícovka, který se smrštil o 3,18 %, potom Zlín o 2,16 % a nakonec vzorek ze směsi Vysoké Mýto, jež se smrštil o 1,5 %. U vzorku ze směsi Žopy došlo k nejmenšímu smrštění a to 0,46 %, což bylo způsobeno vysokým obsahem vápence, ze kterého během výpalu vznikala anortit.



Graf 26 DKTA zemin Šitbořice, Bratronice, Polom a Polom-lícovka

Z druhého grafu DKTA je patrné, že surovinová směs ze Šitbořic neměla velké objemové změny při výpalu, to bylo opět způsobeno vysokým obsahem vápence a jeho přeměnou na anortit. Největších změn dosáhla směs z Bratronice, u které došlo ke smrštění o 4,74 %. U surovinové směsi Polom-lícovka došlo ke smrštění o 2,74 % a u směsi Polom došlo k nárůstu o 2,90 %, který se poté snížil na 1,95 %.

6. Diskuse o výsledcích

Směs Vysoké Mýto

Vzorky ze směsi z Vysokého Mýta měly s rostoucí teplotou výpalu rostoucí nasákavost a snižující se objemovou hmotnost. Docházelo tedy k výpalu lehčiv obsažených ve směsi a vzniku více pórovité struktury. Jelikož se jednalo o poměrně vápenatou zeminu nedocházelo během výpalu k takovým délkovým změnám. Při teplotě 1050 °C však došlo k počátku slinování, objemová hmotnost vzrostla na 1670 kg.m⁻³ a nasákavost klesla na 15,1 %. Slinutí při teplotě 1050 °C mělo za následek i to, že došlo ke snížení množství otevřených pórů a nedošlo tak k růstu vzlínivosti s rostoucí teplotou.

Co se týče výkvětovnosti, tak nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek vypálený při teplotě 950 °C a nejméně při teplotě 850 °C. U všech vzorků došlo ke vzniku výkvětů bílého zbarvení na ploše. V závislosti k co nejnižší nasákavosti se navrhla optimální teplota výpalu 850 °C. Při této teplotě byla nižší nasákavost a minimální intenzita výkvětů.

Dále se pomocí KNS odhadla mrazuvzdornost vzorků. Zde měly vzorky vypálené při teplotě 850 °C a 950 °C nejistou mrazuvzdornost a jen vzorek vypálený při 1050 °C měl být pravděpodobně mrazuvzdorný. Podle mrazuvzdornosti stanovené přímo však všechny vzorky odolaly působení 15 ti zmrazovacím cyklům a patří tedy do skupiny mrazuvzdorných zdících prvků odolávajícím mírně agresivnímu prostředí. Jelikož zde byla u všech vzorků nasákavost vyšší než 10 % a vzorky stejně mrazuvzdorné byly, muselo v jejich struktuře dojít k vhodnému rozložení a velikosti obsažených pórů.

Pevnost v tahu za ohybu vzorků závisela na objemové hmotnosti, a tedy s rostoucí objemovou hmotností rostla i pevnost, to mělo souvislost i s klesající pórovitostí, docházelo tak k většímu zhutnění směsi. Slinutí při 1050 °C mělo zde za následek maximální hodnotu pevnosti s hodnotou 3,2 MPa. Pevnost v tlaku zde také závisela na objemové hmotnosti a s teplotou výpalu klesala, což bylo zapříčiněno výpalem lehčiv. Maximální pevnost v tlaku byla 13,8 MPa.

Při vyhodnocení DTA se zjistilo, že směs z Vysokého Mýta obsahovala vápenec z 6,1 %, jednalo se tedy o vápenatou zeminu a celková ztráta žíháním byla 7,0 %. Směs obsahovala jílové nerosty montmorillonit, illit a hlavně kaolinit, mezi obsažené nejílové minerály patřily biotit, albit, muskovit a křemen. Jelikož se jednalo o vápenatou zeminu, tak obsahovala kalcit a anortit, což nám potvrzuje, že během výpalu nedocházelo k takovým délkovým změnám. To, že směs nebyla až tak vápenatá dokazuje i to, že její zabarvení je poměrně červené a obsahovala i pravděpodobně vyšší množství železa,

Směs Štěrboholy

Vzorky ze směsi Štěrboholy měly nasákavost úměrnou teplotě výpalu a s rostoucí teplotou výpalu nasákavost klesala. Objemová hmotnost zde však s klesající nasákavostí nerostla. To bylo způsobeno velkými délkovými změnami při výpalu, došlo tak ke snížení pórovitosti bez toho, aby došlo ke zvýšení objemové hmotnosti. Maximální objemová hmotnost zde nastala při 950 °C měla hodnotu 2000 kg.m⁻³ a nejnižší nasákavost měla hodnotu 4,4 %, jednalo se tak o nízko nasákavý vzorek. Jelikož je vzlínavost úměrná poměru otevřených pórů, dosáhla nejvyšších hodnot při 850 °C.

Nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek vypálený při teplotě 850 °C a nejméně při 1050 °C. Zde se opět výkvěty projeví na ploše a měly bílou barvu. S ohledem na nasákavost by byla optimální teplota výpalu kolem 950–1050 °C.

Protože stanovení mrazuvzdornosti nepřímo je v podstatě založeno na tom, že s rostoucí nasákavostí se snižuje mrazuvzdornost, tak vyšlo, že vzorky vypálené při teplotě 750–950 °C byly s nízkou pravděpodobností mrazuvzdorné a jediný vzorek vypálený při teplotě 1050 °C měl být nejspíš mrazuvzdorný. Po 15 ti zmrazovacích cyklech však uspěl jen vzorek vypálený při teplotě 850 °C, u kterého byla nasákavost opět vyšší než 10 %. Mrazuvzdornost je mimo jiné ovlivněna i skrytými vadami ve struktuře a nevhodným rozložením a velikosti pórů, tak proto vzorky, které sice měly nasákavost pod 10 % mrazuvzdorné nebyly.

Pevnost vzorků ze směsi ze Štěrbohol byla závislá na hutnosti. Vzorek, u kterého došlo k nejvyššímu zhutnění během výpalu dosahoval nejvyšších pevností. Jednalo se o vzorek vypálený při teplotě 1050 °C a dosahoval pevnosti v tlaku 18,3 MPa a pevnosti v tahu za ohybu 4,7 MPa. Ke zhutnění došlo v důsledku vysokého smrštění během výpalu.

Jelikož docházelo během výpalu k velkým délkovým změnám, je patrné, že se nejednalo o vápenatou zeminu. Celková ztráta žíháním této směsi byla 9,2 %. Co se týče mineralogického složení obsahovala směs zejména kaolinit, dále pak montmorillonit, illit, biotit, albit, muskovit a křemen. Nepřítomnost kalcitu či anortitu a výrazné červené zbarvení vzorků dokazuje, že směs nebyla vápenatá.

Směs Zlín

U vzorků ze směsi Zlín docházelo během výpalu ke smrštění, které ovlivňovalo pokles objemové hmotnosti. Docházelo tedy k výpalu lehčiv. Nejvyšší nasákavost měly vzorky vypálené při teplotě výpalu 750 °C a nejnižší při 1050 °C. Jelikož objemová hmotnost nejprve klesala a mezi 950 °C a 1050 °C opět rostla, což je opačné nasákavosti, tak při 1050 °C nejspíš došlo k počátku slinování. Nejvyšší objemová hmotnost měla hodnotu 1620 kg.m⁻³ a nejnižší nasákavost byla 16,4 %. K největšímu vzlínání zde docházelo při teplotě výpalu 950 °C, kdy měl vzorek největší množství otevřených pórů.

Nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek vypálený při teplotě 750 °C, kdy byly výkvěty velice intenzivní, a nejméně při teplotě 1050 °C. Opět se výkvěty nacházely na ploše a měly bílou barvu. Ve spojitosti s nejnižší nasákavostí a nejnižší náchylností ke tvorbě výkvětů by byla ideální teplota výpalu zhruba 1000 °C.

Co se týče mrazuvzdornosti, tak vzorky vypálené při teplotě 750-950 °C byly s nízkou pravděpodobností mrazuvzdorné a u vzorku vypáleného při teplotě 1050 °C se odhadovalo, že mrazuvzdorný bude. Po přímém zkoušení mrazuvzdornosti tomu však bylo naopak a jediný vzorek vypálený při 1050 °C mrazuvzdorný nebyl, to bylo způsobeno buďto skrytými vadami anebo nevhodným uspořádáním a velikostí pórů ve struktuře.

Pevnost v tahu za ohybu vzorků byla ovlivněna počátkem slinování a dosahovala maximální hodnoty 4,9 MPa při teplotě 1050 °C. Pevnost v tlaku souvisela s objemovou hmotností a jelikož ani u ní nedocházelo k velkým objemovým změnám během výpalu, obsahovala směs malé množství lehčiv, které by během výpalu vyhořívaly a snižovaly objemovou hmotnost a zvyšovaly nasákavost. Maximální hodnota pevnosti v tlaku nastala při 750 °C a měla hodnotu 9,0 MPa.

Směs Zlín nebyla vápenatou zemínou, docházelo tedy během výpalu k délkovým změnám a celková ztráta žíháním byla 5,4 %, což potvrzuje, že směs neobsahovala velké množství látek, které se spálily. Směs obsahovala vysoké množství kaolinitu a biotitu, dále pak montmorillonit, illit, biotit, albit, muskovit a křemen. Nízký obsah vápence také ovlivnil zbarvení střepe, který byl výrazně červený v důsledku obsahu vyššího množství železa.

Směs Zlín-lícovka

Během výpalu docházelo ke smrštění směsi Zlín-lícovka, docházelo ke zhutnění a v důsledku toho se s rostoucí teplotou výpalu zvyšovala objemová hmotnost a snižovala nasákavost a zdánlivá pórovitost. Nejvyšší dosažená hodnota objemové hmotnosti byla 2200 kg.m⁻³ a minimální nasákavost 7,6 %.

Nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek vypálený při teplotě 950 °C a nejméně při teplotě 850 °C. Opět i zde byly výkvěty po celé ploše a měly bílé zbarvení. Po srovnání s výsledky nasákavosti směsi by byla odhadovaná ideální teplota výpalu kolem 900 °C. Vzlínavost s rostoucí teplotou výpalu rostla.

Co se týče mrazuvzdornosti byl předpoklad, že mrazuvzdorný bude pravděpodobně jen vzorek vypálený při 1050 °C. Po porovnání s přímou metodou zkoušení mrazuvzdornosti bylo zjištěno, že mrazuvzdorné byly všechny vzorky.

Jelikož zde docházelo během výpalu ke smrštění nejednalo se o vápenatou zemínou a směs neobsahovala anortit ani kalcit. Obsahovala z většiny kaolinit, dále pak křemen, montmorillonit, illit, biotit, muskovit a albit. Zde bylo také v důsledku malého množství vápence a vysokého množství železa dosaženo výrazně červené barvy střepe.

Směs Žopy

Nejvyšší nasákavost směsi Žopy měl vzorek vypálený při teplotě výpalu 850 °C, který měl i největší objemovou hmotnost. Jelikož během výpalu nedocházelo k téměř žádným délkovým změnám, vznikala anortit, a to mělo za následek, že s rostoucí teplotou výpalu docházelo ke snižování nasákavosti. Maximální objemová hmotnost byla 1610 kg.m⁻³ a minimální nasákavost 18,4 %. I zde vzlínatost s rostoucí teplotou výpalu rostla.

Vzorky směsi Žopy byly nejvíce náchylné ke tvorbě výkvětů při teplotě výpalu 750 °C a nejméně při teplotě 850 °C. Výkvěty se vytvořily na ploše a měly bílé zabarvení, ale pro změnu u vzorku vypáleného při 1050 °C se výkvět nenacházel na ploše ale na jeho hraně. Nasákavost směsi byla nejnižší při teplotě 1050 °C. Tedy ideální teplota výpalu by byla 950 °C.

Odhadovaná mrazuvzdornost i zde byla vyhodnocena jako vysoká pouze u vzorku vypáleného při teplotě 1050 °C, Po 15 ti zmrazovacích cyklech však jen tento vzorek neuspěl a nebyl mrazuvzdorný a ostatní byly. To bylo důkazem toho, že mrazuvzdornost opravdu vždy nesouvisí s nasákavostí, ale je ovlivněna skrytými vadami a póry.

Směs Žopy měla také nejvyšší pevnost v tahu za ohybu při teplotě 1050 °C a dosáhla nejvyšší hodnoty pevnosti ze všech vzorků a ta byla 8,4 MPa. Pevnost v tahu za ohybu rostla společně s teplotou výpalu. To souviselo s obsahem vápence, minimálními délkovými změnami a zhutněním směsi během výpalu. Průběh pevností v tlaku vzorků ze směsi Žopy zde závisel na objemové hmotnosti vzorku.

Nejvyšší hodnoty pevnosti i objemové hmotnosti dosáhl vzorek vypálený při 850 °C, což bylo zapříčiněno vznikem anortitu, který nabobtnal, a hodnota pevnosti byla 11,1 MPa.

Protože se jednalo o vápenatou zeminu obsahovala směs z 15,1 % vápenec, jehož přítomnost se potvrdila i při zkoušení mineralogického složení, při kterém na rozdíl od obvyklých jílových minerálů kaolinitu, illitu, montmorillonitu a nejílových minerálů křemene, biotitu, albitu, muskovitu, obsahoval také kalcit a anortit. Celková ztráta žíháním byla 13,5 %. Vysoký obsah vápence ovlivnil i zbarvení vypáleného střepe, který měl světlejší barvu.

Směs ze Šitbořic

Během výpalu šitbořické směsi docházelo s rostoucí teplotou výpalu ke snižování objemové hmotnosti a nasákavosti. Jelikož nedocházelo k délkovým změnám, vznikal anortit a ten způsoboval, že i když se vypalovala lehčiva a snižovala objemová hmotnost, nedocházelo ke zvýšení pórovitosti vlivem nabobtnání. Nejvyšší objemová hmotnost byla $1720 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a minimální nasákavost 20,5 %. Zde opět došlo s rostoucí teplotou výpalu ke zvýšení vzlínivosti.

Vzorky směsi Šitbořice byly nejvíce náchylné ke tvorbě výkvětů při teplotě výpalu $950 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a nejméně při teplotě $850 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Výkvěty se tvořily po celé ploše vzorků a měly bílé zbarvení. Po srovnání s výsledky nasákavosti by ideální teplota pro dosažení co nejnižší nasákavosti a náchylnosti ke tvorbě výkvětu byla zhruba $850 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Mrazuvzdorné byly vzorky vypálené při teplotě $850 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $950 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pevnost v tahu za ohybu směsi Šitbořice s rostoucí teplotou výpalu rostla a maximální hodnoty dosáhla při $1050 \text{ }^{\circ}\text{C}$, která byla 4,6 MPa. Zde opět došlo vlivem rostoucí teploty výpalu ke snižování pórovitosti vlivem nabobtnáváním vzniklého anortitu, a to mělo za důsledek rostoucí pevnost v tahu za ohybu. Vzorek vypálený při teplotě $850 \text{ }^{\circ}\text{C}$ s objemovou hmotností $1640 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ dosáhl pevnosti 10,4 MPa.

Směs ze Šitbořic byla vysoce vápenatá, obsahovala 21,6 % vápence, což se projevilo na barvě vypálených střepe, které byly velice světlé. Dále směs obsahovala hlavně kaolinit, illit, montmorillonit, anortit, kalcit, albit, muskovit a křemen. Celková ztráta žíháním byla 15,8 %.

Směs Bratronic

Směs z Bratronic měla největší objemovou hmotnost při teplotě výpalu 1050 °C a měla hodnotu 1890 kg.m⁻³, při této teplotě výpalu nastala i nejnižší nasákavost s hodnotou 10,6 %. Během výpalu dochází k výraznému smrštění a zhutnění, což ovlivňuje rostoucí objemovou hmotnost a klesající nasákavost s teplotou výpalu. Opět i zde vzlínavost s teplotou výpalu rostla.

Ze vzorků ze směsi Bratronic byl nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů vzorek vypálený při teplotě 750 °C a nejméně při teplotě 950 °C. Zde výkvěty vytvořily spíše skvrny a měly bílé zabarvení. Vzhledem k nasákavosti by byla ideální teplota výpalu pro dosažení nejnižší nasákavosti a náchylnosti 950 °C.

Podle KNS byly všechny vzorky nejspíše nemrazuvzdorné, za to při stanovení mrazuvzdornosti po 15 ti cyklech vyšlo, že až na vzorek vypálený při teplotě 1050 °C byly všechny vzorky mrazuvzdorné. Jelikož vzorek vypálený při 1050 °C měl nejvyšší objemovou hmotnost a nejnižší nasákavost, musel obsahovat skryté vady, které zapříčinily jeho prasknutí.

Vzorky vyrobené ze směsi Bratronic měly hodnoty pevnosti v tahu za ohybu odpovídající hodnotám objemových hmotností, docházelo tedy s rostoucí objemovou hmotností k růstu pevnosti. Maximální pevnost v tahu tedy nastala při 1050 °C a měla hodnotu 5,1MPa. Jelikož objemová hmotnost i pevnost v tahu za ohybu s teplotou výpalu rostly, docházelo během výpalu ke zhutňování vzorku vlivem vysokého smršťování vzorku. Vzorek směsi Bratronic vypálený při teplotě 750 °C dosáhl pevnosti v tlaku 13,9 MPa.

Směs z Bratronic nebyla vápenatá, což se projevilo i při výpalu, kdy docházelo k velmi výraznému smrštění. Směs obsahovala kaolinit, illit, montmorillonit, albit, muskovit a křemen. Jelikož směs neobsahovala vápenec, nedošlo k zesvětlení vypálených střeptů a měly tedy obsahem železa velmi červené zbarvení.

Polomská směs

U směsi z Polomi nastala největší objemová hmotnost při teplotě výpalu 750 °C a byla 2380 kg.m⁻³, nejnižší nasákavost s hodnotou 14,1 % nastala při teplotě výpalu 1050 °C. Jelikož nejprve objemová hmotnost vysoce klesla, došlo během výpalu k vyhoření vysokého množství lehčiv, zároveň ale docházelo k viditelnému prodloužení vzorků, které mělo za následek snižující se nasákavost a jen mírné snižování objemové hmotnosti.

Došlo nejprve k výraznému snížení objemové hmotnosti při teplotě výpalu 850 °C, zároveň ale zvýšení nasákavosti při této teplotě nebylo tak výrazné, tak pravděpodobně došlo k výraznému výpalu lehčiv, ale také k menšímu nabobtnání a částečnému ucpání otevřených pórů. Mezi teplotami 850 °C a 950 °C pak objemová hmotnost i nasákavost mírně vzrostla, došlo nejspíš opět ke zvětšení objemu vzorku. Od 950 °C pak objemová hmotnost rostla a nasákavost klesala, nastalo tak nejspíš zhutňování. Tomu by odpovídala i zdánlivá pórovitost, která nejprve výrazně klesla při 850 °C, poté vzrostla a mezi teplotami 950 °C a 1050 °C opět klesla, a to dost výrazně. Největší vzlínavost nastala při teplotě výpalu 950 °C.

Nejvíce náchylné ke tvorbě výkvětů byly vzorky vypálené při teplotě výpalu 750 °C a nejméně při teplotě 1050 °C. Vzorek vypálený při 1050 °C měl výkvěty na ploše, ostatní vzorky také, ale největší množství výkvětů bylo na hranách. Po srovnání s výsledky nasákavosti můžeme zvolit jako odhadovanou ideální teplotu výpalu zhruba 900 °C.

Všechny vzorky byly vyhodnoceny jako mrazuvzdorné až na vzorek vypálený při teplotě 1050 °C, který měl sice nejnižší pórovitost, ale obsahoval skryté vady, nebo měl nevhodně uspořádané a velké póry. Odhadovaná mrazuvzdornost pomocí KNS vyšla zcela obráceně.

Nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu dosáhl vzorek vypálený při teplotě 1050 °C a byla 6,6 MPa. Zde je patrné, že to bylo ovlivněno nejnižší pórovitostí střepeu. Maximální pevnost v tlaku byla také při teplotě výpalu 1050 °C a měla hodnotu 28,6 MPa, souvisela tedy opět s hutností střepeu.

Jelikož byly střepy po výpalu výrazně červené a docházelo k výrazným délkovým změnám během výpalu, nejednalo se o vápenatou zeminu. Z mineralogického složení obsahovala kaolinit, illit, montmorillonit, albit, muskovit a křemen. Celková ztráta žíháním byla 5,3 %.

Směs Polom-lícovka

Jako poslední se určilo, že vzorky ze směsi Polom-lícovka dosáhly nejvyšší nasákavosti při teplotě výpalu 750 °C a ta poté postupně klesala s teplotou výpalu na hodnotu 11,3 %. Objemová hmotnost nejprve při teplotě 850 °C vzrostla, poté při 950 °C klesla a dále už stoupala a maximálně měla hodnotu 2020 kg.m⁻³. Pravděpodobně tedy došlo při 950 °C ke slinování, a to mělo za následek rostoucí objemovou hmotnost a klesající nasákavost. Nejvyšší slínání nastalo při teplotě výpalu 750 °C, což bylo způsobeno pórovitou strukturou vzorku.

Nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek směsi Polom-lícovka vypálený při teplotě výpalu 750 °C a nejméně vzorek vypálený při teplotě 1050 °C. Na vzorcích vypálených při teplotě 850 °C a 950 °C vznikly výkvěty žluté barvy. Po porovnání s výsledky nasákavosti směsi by pro dosažení nejnižší nasákavosti a náchylnosti ke tvorbě výkvětů bylo vhodné vzorky vypalovat zhruba při teplotě 1050 °C. Mrazuvzdorně byly jen vzorky vypálené při teplotě 850 °C a 950 °C.

To, že se nejednalo o vápenatou zeminu, potvrdilo nejen mineralogické složení, při kterém se neobjevil kalcit a anortit, ale také délkové změny, ke kterým během výpalu docházelo. Zemina obsahovala kaolinit, illit, montmorillonit, albit, muskovit a křemen. Opět i zde bylo dosaženo výrazně červené barvy vlivem obsahu železa.

7. Závěr

Teoretická část diplomové práce se zabývá vývojem cihlářství s ohledem na suroviny, technologický proces a sortiment. Dál se zaměřuje speciálně na cihlu plnou pálenou, legislativní požadavky na její vlastnosti dnes a v minulosti a výrobce, kteří ji v současnosti vyrábějí.

V praktické části se posoudily jednotlivé suroviny z hlediska mineralogického složení, chování během výpalu a vlastností, jaké měly vzorky vyrobené právě z těchto směsí (mrazuvzdornost, objemová hmotnost atd.).

Cílem diplomové práce bylo experimentálně navrhnout optimální teplotu výpalu surovinových směsí pro dosažení specifických fyzikálně mechanických vlastností. Jelikož měla každá směs jiné složení a dosahovala odlišných vlastností bylo nutné navrhnout pro každou směs specifickou teplotu výpalu.

Směs Vysoké Mýto dosahovala nejnižší nasákavosti a nejvyšší objemové hmotnosti při teplotě výpalu 1050 °C a nejvyšší nasákavosti a nejnižší objemové hmotnosti při teplotě 950 °C. Nejméně náchylná ke tvorbě výkvětů byla při teplotě 850 °C a nejvíce při 950 °C, Mrazuvzdorné byly při všech teplotách výpalu, pevnost v tahu za ohybu byla maximální při 1050 °C a naopak pevnost tlaku při 750 °C. Vzhled a barvu měl nejvhodnější vzorek vypálený při teplotě 850 °C. Z těchto hodnot se tedy navrhla optimální teplota výpalu na 850 °C.

Štěrboholská směs dosáhla nejvyšší objemové hmotnosti při teplotě výpalu 950 °C a nejnižší nasákavosti při 1050 °C. Nejvyšší intenzita výkvětů byla při teplotě výpalu 850 °C a nejméně při 1050 °C. Mrazuvzdorný byl z těchto vzorků jen vzorek vypálený při teplotě 950 °C a měl i nejvhodnější zbarvení a vzhled. Nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu dosáhl vzorek vypálený při teplotě 1050 °C a nejnižších vzorky vypálené při teplotě 750 °C a 950 °C. Maximální pevnost v tlaku pak byla při 1050 °C a nejnižší při 750 °C. Můžeme tedy odhadnout, že nejvhodnější teplota výpalu by se pohybovala kolem 950-1000 °C.

Směs ze Zlína měla nejnižší nasákavost při teplotě výpalu 1050 °C a největší objemovou hmotnost při teplotách 750 °C a 850 °C. Nejméně náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek vypálený při teplotě 1050 °C a nejvíce při 750 °C. a optimální vzhled a barvu měl vzorek vypálený při teplotě 850 °C. Mrazuvzdorné byly všechny vzorky až na vzorek vypálený při teplotě 1050 °C. Nejvyšší pevnost v tahu za ohybu měl vzorek při 1050 °C a nejmenší při 750 °C, kdy byla nejvyšší pevnost v tlaku. Nejnižší pevnost v tlaku pak byla při teplotě výpalu 950 °C. Optimální teplota výpalu pro dosažení specifických vlastností by byla kolem 850 °C.

Surovinová směs Zlín-lícovka dosahovala nejnižší nasákavosti při teplotě výpalu 1050 °C a největší při teplotě 750 °C. Objemová hmotnost byla největší při 950 °C a 1050 °C a nejmenší při 750 °C. Nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek vypálený při teplotě 950 °C a nejméně při 850 °C. Nejvhodnější barvu a vzhled měl vzorek vypálený při teplotě 850 °C a mrazuvzdorné byly všechny vzorky. Zde se pevnosti nestanovovaly, a tedy se odvodí optimální teplota výpalu z ostatních hodnot na 900 °C.

Směs Žopy dosahovala největší nasákavosti při teplotě výpalu 850 °C a nejmenší nasákavost při 1050 °C. Objemová hmotnost byla nejvyšší při 850 °C a nejnižší při 1050 °C. Mrazuvzdorné byly všechny vzorky, kromě vzorku vypáleného při teplotě 1050 °C. S ohledem na vzhled a barvu byl ideální vzorek vypálený při teplotě 850 °C. Nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek vypálený při teplotě 750 °C a nejméně při 850 °C. Nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu dosáhl vzorek vypálený při teplotě 1050 °C a nejnižší při teplotě 750 °C. Největší pevnost v tlaku dosáhl vzorek vypálený při 850 °C a nejmenší při 950 °C. Z dosažených hodnot se navrhla optimální teplota výpalu na 850 °C.

Šitbořická směs měla nejvyšší objemovou hmotnost při teplotě výpalu 750 °C a nejnižší při 1050 °C. Nasákavost byla nejnižší při 1050 °C a nejvyšší při 850 °C. Nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek vypálený při teplotě 950 °C a nejméně při 850 °C. Ideální vzhled a barva byla u vzorku 850 °C. Mrazuvzdorné byly vzorně vypálené při teplotě 950 °C a 1050 °C. Největší pevnost v tahu za ohybu měl vzorek vypálený při teplotě 1050 °C a nejmenší při 750 °C. Pevnost v tlaku byla platná jen při 850 °C. Optimální teplota výpalu by mohla být kolem 900 °C.

Vzorky se směsí Bratronice měly největší nasákavost při teplotě výpalu 750 °C a nejmenší při 1050 °C. Nejnižší objemová hmotnost byla při teplotě 850 °C a nejvyšší při 1050 °C. Mrazuvzdorné byly všechny vzorky až na vzorek vypálený při teplotě 1050 °C. Nejvhodnější vzhled a barvu měl vzorek vypálený při teplotě 950 °C. Nejméně náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek vypálený při teplotě 950 °C a nejvíce při 750 °C. Maximální pevnost v tahu za ohybu dosáhly vzorky vypálené při 1050 °C a minimální při 850 °C. Z těchto výsledků by byla ideální teplota výpalu kolem 1000 °C.

Směs z Polomi měla nejvyšší objemovou hmotnost při teplotě výpalu 750 °C a nejnižší při 1050 °C. Nejnižší nasákavost byla při teplotě 1050 °C a nejvyšší při 950 °C. Pevnost v tlaku vzorků byla maximální při 1050 °C a minimální při 750 °C. Nejvyšší pevnost v tahu za ohybu byla také při 1050 °C a nejnižší při 850 °C. Mrazuvzdorné byly všechny vzorky až na vzorek vypálený při teplotě 750 °C. Nejvíce náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek vypálený při teplotě 750 °C a nejméně při 1050 °C. Ideální vzhled a zabarvení měl vzorek vypálený při teplotě 950 °C a optimální teplota se stanovila na 1000-1050 °C.

Směs Polom-lícovka měla největší nasákavost při teplotě výpalu 750 °C a nejmenší při 1050 °C a objemová hmotnost byla přesně naopak. Nejméně náchylný ke tvorbě výkvětů byl vzorek vypálený při teplotě 1050 °C a nejvíce při 750 °C. Optimální vzhled a barva byla při 850 °C. Mrazuvzdorné byly vzorky vypálené při teplotě 850 °C a 950 °C. Z dosažených výsledků se navrhla optimální teplota výpalu na 900 °C.

Seznam použitých zdrojů

Literatura

- [1] PYTLÍK, Petr a Radomír SOKOLÁŘ. *Stavební keramika: technologie, vlastnosti a využití*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-7204-234-3
- [2] LACH, Vladimír a Marcela DAŇKOVÁ. *Mikrostruktura stavebních látek*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1991. ISBN 80-214-0309-8.
- [3] PYTLÍK, P. *Cihlářství*. Brno: CERM, 1995, 264 s. ISBN 80-214-0612-7.
- [4] Cihlářský svaz Čech a Moravy. *Cihlářský lexikon*. 2. vydání. České Budějovice: CSCM, 2001.
- [5] American Institute of Architects. *Environmental Resource Guide*. Canada: The American Institute of Architects, 1998.
- [6] Campbell, J. W. P. and Pryce, W., *Brick. A World History*. New York, NY: Thames and Hudson, 2003.
- [7] *Dějiny staveb: Sborník příspěvků z konference Dějiny staveb*. Plzeň: Petr Mikota, [2001]. ISBN 80-86596-02-8. ISSN 1803-0777.
- [8] POLLÁKOVÁ, Lenka. *Vlastnosti současných plných pálených cihel* [online]. Brno, 2020 [cit. 2022-01-10]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/190763>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Radomír Sokolář.
- [9] SOKOLÁŘ, R., SMETANOVÁ, L. *Keramika – laboratoře: Modul BJ02-M01*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006, 120 s.

Internetové zdroje

- [10] BKreative. The History of Bricks and Brickmaking. *Brickarchitecture.com* [online]. 2017 [cit. 2022-01-10]. Dostupné z: <https://brickarchitecture.com/about-brick/why-brick/the-history-of-bricks-brickmaking>
- [11] *Manufacturing of Brick*. The Brick Industry Association, 2006. Dostupné také z: <https://www.gobrick.com/docs/default-source/read-research-documents/technicalnotes/9-manufacturing-of-brick.pdf?sfvrsn=0>
- [12] Pálená cihla – stavební materiál prověřený staletími. *Dobry kontakt: Bydlení a zahrada* [online]. 2017 [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://www.spektrumzdravi.cz/dobry-kontakt/dobry-kontakt-zdrave-bydleni-palena-cihla-stavebni-material-provereny-staletimi>

- [13] Ing. Ondřej Anton, Ph.D., Ing. Petr Cíkrle, Ph.D., Ing. Věra Heřmánková. Historický objekt z hlediska původu a kvality použití cihelných zdících prvků. *Tzbinfo* [online]. 2016 [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/14780-historicky-objekt-z-hlediska-puvodu-a-kvality-pouziti-cihelnych-zdicich-prvku>
- [14] Historie cihel se značkami. *Badatelna 2021* [online]. [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: http://davar.cz/badatelna/xref/cih_historie.htm
- [15] Jan Huber, DiS. Cihla – od historie po dnešek. *STAVEBNICTVI3000.CZ* [online]. 2016 [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/cihla-od-historie-po-dnesek>
- [16] Cihelna Vysoké Mýto. *Cihelna Vysoké Mýto s.r.o.* [online]. 2022 [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://cihelna.hrabcuk.cz/>
- [17] Cihelna Štěřboholy. *Cihelna Štěřboholy: Brick Factory Of Šterboholy* [online]. 2020 [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://cihelnasterboholy.cz/>
- [18] Cihelny Zlínsko s.r.o. *Zlínské cihelny s.r.o.* [online]. [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <http://www.cihelny-zlinsko.cz/>
- [19] Cihelna Šitbořice. *Cihelna Šitbořice: klasické pálené cihly vyrobené tradiční technologií* [online]. 2011 [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <http://www.cihelnasitborice.cz/>
- [20] Cihelna Bratronice. *CIHELNA BRATRONICE* [online]. 2022 [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://www.cihelnabratronice.cz/>
- [21] Cihelna Polom: Cihla plná, lícová, voštinové a dutinové cihly. *CIHELNA POLOM* [online]. [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <http://www.cihelnapolom.cz/cs>
- [22] Cihelna Miskolezy: Výroba cihel České Skalice. *CIHELNY STAMP MISKOLEZY, s.r.o.* [online]. [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://cihelna-skladka.cz/cihelna>
- [23] Pezinské Tehelne. *Pezinské Tehelne: Paneláreň, a.s.* [online]. 2022 [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://www.pezinske-tehelne.sk/>
- [24] Myjavská tehelňa. *Myjavská tehelňa* [online]. [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <http://www.myjavskatehelna.sk/>
- [25] Ipelská tehelna. *BRITTERM: Pravá slovenská tehla* [online]. [cit. 2022-01-14]. Dostupné z: <https://bri term.sk/>

[26] Radomír Sokolář. Příprava metodiky posuzování vlastností plných pálených cihel s ohledem na jejich využití při rekonstrukci historických objektů – část 1.: Workshop projektu NAKI II, Brno, 20. 9. 2019 Cihly v historických objektech a možnosti jejich náhrady, dosavadní výsledky probíhajícího výzkumu projektu NAKI II v oblasti materiálové analýzy historických cihel [online]. In: 2019 [cit. 2022-01-11]. Dostupné z:
<https://www.historickecihly.cz/projekt/files/NAKI%20workshop%202019%20prezentace%206%20Sokolar.pdf>

Normy

- [27] ČSN EN 771-1+A1 (72 2634) *Specifikace zdících prvků*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [28] ČSN 72 2602: *Skúšanie tehliarskych výrobkov, Zistovanie vzhľadu a rozmerov*. Praha: 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 a nasiakavosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1979.
- [31] ČSN 72 1565-6: *Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení ztráty hmotnosti pálením, nasákavosti, zdánlivé pórovitosti a objemové hmotnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986.
- [32] ČSN 72 1565-5: *Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení délkových změn sušením a pálením*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986.
- [33] ČSN 72 1565-4: *Zkoušení cihlářských zemin. Vytváření, sušení a výpal zkušebních tělísek*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986.
- [34] ČSN 72 2607: *Skúšanie tehliarskych výrobkov. Stanovenie výskytu cicvárov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1979.
- [35] ČSN 72 2608: *Skúšanie tehliarskych výrobkov. Stanovenie náchylnosti na tvorbu výkvetov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1979.
- [36] ČSN EN 772-5 ED.2: *Zkušební metody pro zdící prvky – Část 5: Stanovení obsahu aktivních rozpustných solí v pálených zdících prvcích*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.

- [37] ČSN 72 2609: Zkušební metody pro zdicí prvky – Specifické vlastnosti pálených zdicích prvků. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [38] ČSN EN 772-22: Zkušební metody pro zdicí prvky – Specifické vlastnosti pálených zdicích prvků. Zkušební metody pro zdicí prvky – Část 22: Stanovení mrazuvzdornosti pálených zdicích prvků. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [39] DIN 52251-3: Indirekte Prüfverfahren zur Prüfung der Frostwiderstandsfähigkeit von Dachziegeln; Bestimmung des Tränkungswertes, 1987.
- [40] ČSN 72 2605: Skúšanie tehliarských výrobkov. Stanovenie mechanických vlastností. Praha: Český normalizační institut, 1993
- [41] ČSN 72 1083: Termické rozborý keramických surovin. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Mohendžodáro [10].....	11
Obrázek 2 Fasáda historické cihlové gotické stavby [10].....	12
Obrázek 3 Pyramida Slunce v Mexiku [10].....	13
Obrázek 4 Starý státní dům v Bostonu [10].....	14
Obrázek 5 Schéma výroby cihel [11].....	17
Obrázek 6 Mletí a doprava zeminy na haldy [11].....	18
Obrázek 7 Cihly v peci [11]	20
Obrázek 8 Historické foto sušení ve Vysokém Mýtě [16].....	29
Obrázek 9 Cihla plná pálená a cihla polského formátu [16]	30
Obrázek 10 Historické foto zbourané Štěrboholské cihelny [17].....	31
Obrázek 11 Cihla plná pálená a cihla polského formátu [17]	31
Obrázek 12 Cihla plná pálená Zlínských cihelen [18]	32
Obrázek 13 Cihla plná pálena (zvonivka) žlutá a červená [19].....	33
Obrázek 14 Bratronická cihla plná pálená [20]	34
Obrázek 15 Cihla plná pálená z Polomi [21]	35
Obrázek 16 Cihla plná pálená a CP polský formát [22].....	36
Obrázek 17 Cihla TermoBRIK TD 300 Akustik nebroušená [23]	36
Obrázek 18 Myjavská cihla plná pálená [24].....	37
Obrázek 19 Barvy střepu dle teploty výpalu [26].....	39

Obrázek 20 Výkvěty na vzorcích M.....	69
Obrázek 21 Výkvěty na vzorcích P	70
Obrázek 22 Výkvěty na vzorcích Z	70
Obrázek 23 Výkvěty na vzorcích ZL	71
Obrázek 24 Výkvěty na vzorcích Ž	71
Obrázek 25 Výkvěty na vzorcích ze Šitbořic	72
Obrázek 26 Výkvěty na vzorcích B.....	72
Obrázek 27 Výkvěty na vzorcích L	73
Obrázek 28 Výkvěty na vzorcích LL	73
Obrázek 29 Vzorky M po zkoušce mrazuvzdornosti.....	78
Obrázek 30 Vzorky P po zkoušce mrazuvzdornosti.....	79
Obrázek 31 Vzorky Ž po zkoušce mrazuvzdornosti.....	79
Obrázek 32 Vzorky ZL po zkoušce mrazuvzdornosti.....	80
Obrázek 33 Vzorky Z po zkoušce mrazuvzdornosti.....	80
Obrázek 34 Vzorky B po zkoušce mrazuvzdornosti.....	81
Obrázek 35 Vzorky L po zkoušce mrazuvzdornosti	81
Obrázek 36 Vzorky LL po zkoušce mrazuvzdornosti	82

Seznam tabulek

Tabulka 1 Kategorie obsahu aktivních rozpustných solí [27].....	27
Tabulka 2 Kategorie mrazuvzdornosti pálených prvků [27].....	28
Tabulka 3 Kategorie mezních odchylek od jmenovitých rozměrů [27].....	41
Tabulka 4 Kategorie obsahu cicvářů [34]	46
Tabulka 5 Podmínky mrazuvzdornosti [37]	48
Tabulka 6 Mrazuvzdornost pálených zdících prvků [27].....	48
Tabulka 7 Vyhodnocení koeficientu nasycení střepu (KNS) [38].....	49
Tabulka 8 Vyhodnocení saturačního poměru [39].....	49
Tabulka 9 Vstupní údaje o vzorcích M, P, Z a ZL.....	53
Tabulka 10 Vstupní údaje o vzorcích Ž, S, L, B a LL	54
Tabulka 11 Nasákavost, objemová hmotnost a zdánlivá pórovitost vzorků M, P, Z, ZL, Ž, S a B.....	56
Tabulka 12 Nasákavost, objemová hmotnost a zdánlivá pórovitost vzorků L a LL	57
Tabulka 13 Hmotnostní a délkové změny způsobené výpalem vzorků M, P, Ž a ZL	63

Tabulka 14 Hmotnostní a délkové změny způsobené výpalem vzorků Z, S, L a B.....	64
Tabulka 15 Hmotnostní a délkové změny způsobené výpalem vzorků LL.....	65
Tabulka 16 Vzlínavost vzorků M, P, Ž, ZL a Z.....	74
Tabulka 17 Vzlínavost vzorků S, B, L a LL	75
Tabulka 18 Vyhodnocení mrazuvzdornosti vzorků M, P, Ž, ZL a Z	77
Tabulka 19 Vyhodnocení mrazuvzdornosti vzorků S, B, L a LL	78
Tabulka 20 Vyhodnocení koeficientu nasycení střepu (KNS) [37]	83
Tabulka 21 Vyhodnocení koeficientu nasycení vzorků M, P, Z, ZL a Ž	83
Tabulka 22 Vyhodnocení koeficientu nasycení vzorků S, B, L a LL.....	84
Tabulka 23 Pevnost v tahu za ohybu vzorků M, P, Z, Ž a S	85
Tabulka 24 Pevnost v tahu za ohybu vzorků B a L.....	86
Tabulka 25 Pevnost v tlaku vzorků M, P a Z.....	88
Tabulka 26 Pevnost v tlaku vzorků Ž, S, B a L	89

Seznam grafů

Graf 1 Závislost nasákavosti a objemové hmotnosti na teplotě výpalu směsi M, P a Z	57
Graf 2 Zdánlivá pórovitost v závislosti na teplotě výpalu směsí M, P a Z	57
Graf 3 Závislost nasákavosti a objemové hmotnosti na teplotě výpalu směsi ZL, Ž a S	59
Graf 4 Zdánlivá pórovitost v závislosti na teplotě výpalu směsí ZL, Ž a S.....	59
Graf 5 Závislost nasákavosti a objemové hmotnosti na teplotě výpalu směsi B, L a LL	60
Graf 6 Zdánlivá pórovitost v závislosti na teplotě výpalu směsí B, L a LL.....	61
Graf 7 Ztráta hmotnosti výpalem v závislosti na teplotě výpalu vzorků M, P a Ž.....	65
Graf 8 Délkové změny v závislosti na teplotě výpalu vzorků M, P a Ž.....	65
Graf 9 Ztráta hmotnosti výpalem v závislosti na teplotě výpalu vzorků ZL, Z a S	66
Graf 10 Délkové změny v závislosti na teplotě výpalu vzorků ZL, Z a S.....	67
Graf 11 Ztráta hmotnosti výpalem v závislosti na teplotě výpalu vzorků L, LL a B	68
Graf 12 Délkové změny v závislosti na teplotě výpalu vzorků L, B a LL.....	68
Graf 13 Vzlínavost vzorků M, P a Ž	75
Graf 14 Vzlínavost vzorků ZL, Z a S.....	76
Graf 15 Vzlínavost vzorků B, L a LL.....	76
Graf 16 Pevnost v tahu za ohybu vzorků.....	86

Graf 17 Pevnost v tlaku vzorků	90
Graf 18 RTG všech zkoušených zemin	91
Graf 19 DTA a TG křivky zeminy Vysoké Mýto	92
Graf 20 DTA a TG křivky zeminy Zlín	93
Graf 21 DTA a TG křivky zeminy Žopy	93
Graf 22 DTA a TG křivky zeminy Šitbořice	94
Graf 23 DTA a TG křivky zeminy Štěrboholy	95
Graf 24 DTA a TG křivky zeminy Polom	95
Graf 25 DKTA zemin Vysoké Mýto, Štěrboholy, Zlín, Zlín-líčovka a Žopy	96
Graf 26 DKTA zemin Šitbořice, Bratronice, Polom a Polom-líčovka	97