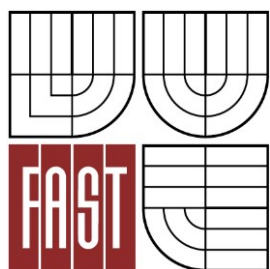




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

MOŽNOSTI URYCHLOVÁNÍ ODLEŽOVÁNÍ CIHLÁŘSKÝCH VÝROBNÍCH SMĚSÍ

POSSIBILITIES OF ACCELERATING MATURING BRICK PRODUCTION MIXTURES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

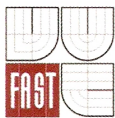
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MONIKA LUKÁŠKOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. RADOMÍR SOKOLÁŘ, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Monika Lukášková
Název	Možnosti urychlování odležování cihlářských výrobních směsí
Vedoucí bakalářské práce	doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu



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

Podklady a literatura

- [1] Hanykýř V., Kutzendörfer J., Technologie keramiky, Vega s.r.o. 2000, ISBN 80-900860-6-3
- [2] Sokolář, R. Keramika/Modul BJ01-M01. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, [2006]. 176 s
- [3] Sokolář, R., Smetanová, L. Keramika – laboratoře/Modul BJ02-M01. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, [2006]. 120 s.
- [4] Pytlík, P., Sokolář, R. Stavební keramika. Technologie, vlastnosti a využití. CERM Brno 2002, ISBN 80-7204-234-3
- [5] Valenta, L. Keramická příručka. Vydavatelství technické literatury. Horní Maršov 1999.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Odležování je důležitá součást technologie cihlářské výroby. Dlouhodobou snahou v cihlářské praxi je proces odležení maximálně urychlit.

Cílem bakalářské práce je:

- Popsat teoretické předpoklady procesu odležování a shrnout doposud publikované možnosti urychlení odležení (zvýšená teplota, příměs ztekucovadel apod.),
- popište metodiku stanovení odleživosti cihlářských těst podle dostupných norem.
- v praktické části práci posuďte u jedné cihlářské zeminy možnost urychlení procesu odležení za použití zvýšené teploty a navrhnete optimální teplotu roztělovací vody pro urychlení procesu odležení. Posuďte také vliv zvýšené teploty roztělovací vody na další vlastnosti plastického těsta (citlivost k sušení, délkové změny sušením, obsah roztělovací vody, pevnost výsušku) a vypáleného střepu (pórovitost, pevnost, délkové změny pálením, tepelná vodivost).

Doporučený rozsah práce cca 40 stran.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

3.

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

ABSTRAKT

Cíl této bakalářské práce spočívá zejména v ověření možnosti urychlení doby odležení cihlářských keramických směsí pomocí přidání horké vody. V teoretické části bakalářské práce je popsána historie keramiky, cihlářské keramické výrobky, výroba keramických cihlářských střepů, potřebná doba odležení a její vliv na konečné vlastnosti keramických produktů. V části praktické bude použit jeden druh cihlářské zeminy a následně z ní bude umícháno plastické těsto, které bude od běžných výrobních směsí odlišeno vyšší teplotou rozdělovací vody. Dále jsou popsány postupy zkoušek prováděných na jednotlivých zkušebních vzorcích. Výstupem této práce by mělo být vyhodnocení, jaká teplota vody je nejefektivnější pro zkrácení doby odležení cihlářských keramických směsí a jaký vliv má toto urychlení odležení na vlastnosti plastického těsta a finální vlastnosti vypáleného střepu.

ABSTRACT

Aim of this thesis lies mainly in the verification of how to speed up the time of maturing of brick ceramic mixtures by adding hot water. The theoretical part describes the history of ceramics, brick, ceramic products, manufacture of ceramic brick shards and the time required maturing and its influence on the final properties of ceramic products. In the practical part will be used one type of brick earth and then it will mix a plastic dough, which will be from the current production of mixtures distinguished higher temperature mixing water. Next step is to describe the procedures for tests on individual samples. The outcome of this work should be to evaluate which water temperature is best for shortening the time of maturing brick ceramic mixtures, and what effect this acceleration have on resting of the plastic dough and what is the final characteristics of this sample.

KLÍČOVÁ SLOVA

Keramika, výrobní směs, cihlářský keramický střep, doba odležení, urychlení doby odležení

KEYWORDS

Ceramics, production mix, brick ceramic shard, maturing time, speeding time maturing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Monika Lukášková *Možnosti urychlování odležování cihlářských výrobních směsí*. Brno, 2015. 54 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ:

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

V Brně dne 27.5.2015

.....
podpis autora
Monika Lukášková

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP:

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

V Brně dne 27.5.2015

.....
podpis autora
Monika Lukášková

PODĚKOVÁNÍ:

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Radomíru Sokolářovi, Ph.D. za odborné vedení práce, čas věnovaný konzultacím a poskytování cenných rad při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině za podporu během celého bakalářského studia.

OBSAH

1 ÚVOD	10
1.1 Cíl práce	11
2 TEORETICKÁ ČÁST	11
2.1 Historie keramiky a cihlářství	12
2.2 Cihlářské keramické produkty	12
2.3 Keramický výrobní postup cihlářských výrobků	15
2.3.1. Těžba suroviny	17
2.3.2. Předúprava surovinové směsi	17
2.3.3. Příprava surovinové směsi	17
2.3.4. Vytváření surovinové směsi	18
2.3.5. Sušení	18
2.3.6. Výpal	19
2.3.7. Skladování a expedice produktů	19
2.4 Doba odležení	20
2.4.1 Doposud publikované výsledky principu odležení	20
2.4.2. Primární odležení surovin	23
2.4.3. Odležárny cihlářských surovin	24
2.5 Známé možnosti urychlení odležení	26
2.5.1 Proteplování plastického těsta	26
2.5.2 Propařování plastického těsta	26
2.5.3 Použití ztekucovadla – sulfitového výluhu	27
2.6 Stanovení odleživosti dle ČSN 72 1565 část 9	29
2.6.1 Postup zkoušky při stanovení odleživosti za studena	29
2.6.2 Postup zkoušky při stanovení odleživosti za tepla	30
3 PRAKTICKÁ ČÁST	31
3.1 Postup vytváření a zkoušení plastických těst	31
3.2 Prováděné zkoušky	33
3.2.1 Stanovení optimální vlhkosti podle Pfeffekorna ČSN 72 1074	33
3.2.2 Stanovení odleživosti za studena plastického těsta	37
3.2.3 Stanovení citlivosti k sušení podle Bigota	41
3.2.4 Délkové změny sušením a pálením	43
3.2.5 Pevnost výsušku a vypáleného střepu v tahu za ohybu	45
3.2.6 Stanovení součinitele tepelné vodivosti	47
3.2.7 Stanovení zdánlivé pórovitosti	48
4. ZÁVĚR	50
5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJE	51
6. SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ	53

1 ÚVOD

Cihlářská výroba patří mezi nejstarší umělecká řemesla, kterým se lidstvo věnovalo. Dříve se jednalo převážně o výrobu ruční, ale dnes je zajišťována převážně výrobou strojovou. [11] V současnosti je možné vyrobit kvalitnější cihlářské prvky větších formátů s možností aplikování různých povrchových úprav.

Výslednými produkty cihlářské výroby jsou stavební materiály využívané zejména při realizování většiny pozemních staveb. Jedná se v první řadě o cihly, lícové cihly a zdící tvarovky. Dalšími produkty této výroby jsou keramické stropní vložky, střešní pálená krytina, keramické obklady a spousta dalších keramických prefabrikovaných dílců. [2]

Nejlepších výsledků finálních vlastností cihlářských prvků lze kromě dodržení výrobního postupu dosáhnout zajištěním dokonalé homogenizace výrobní směsi. S homogenizací úzce souvisí doba odležení, kterou je možné ovlivnit některé vlastnosti hotových produktů. Důležitými faktory tohoto procesu jsou doba určená k odležení a obsah vody obsažený v cihlářském těstě, protože s rostoucí dobou odležení se zlepšují reologické vlastnosti cihlářského těsta.

Voda v cihlářském těstě reaguje s jílovými zrny a ve struktuře se vytváří micely a zároveň dochází k intermicelárnímu a intramicelárnímu bobtnání. Jílové minerály se rozkládají, přičemž rostou síly mezi zrny a také měrný povrch samotných zrn. Dalším důsledkem odležení je tzv. tixotropní zpevňování, které označuje růst pevnosti produktu ve smyku. [1]

Proces odležení probíhá v tzv. odležárnách, které by měly surovinu zabezpečit před zamrznutím a dalšími nepříznivými vlivy počasí. V odležárně je vytěžená cihlářská surovina uložena např. v boxech a probíhá zde odležení, částečné mísení a hlavně homogenizace suroviny. Dobu potřebnou k odležení je možné zkrátit zvýšením teploty plastického těsta.

V cihlářství je na výrobu plastického těsta tedy možné použít horkou vodu či páru, popřípadě ztekucovadlo, čímž dosáhneme snížení množství rozdělovací vody a zároveň zachování reologických vlastností těsta. „*Experimentálně bylo zjištěno, že propařené plastické těsto má stejné reologické vlastnosti po odležení cca 72 hodin jako těsto nepropařené po odležení až 10 dnů.*“ [1]

Trendem moderní doby ve všech oborech a odvětvích je dosažení co nejvyšší možné produktivity výroby. Proto se stále hledá způsob, jak zkrátit dobu potřebnou k odležení a neohrozit tím kvalitativní vlastnosti cihlářských výrobků.

Tím by se usnadnila a především urychlila výroba cihlářských střepů téměř ve všech výrobních závodech a cihelnách.

1.1 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je ověřit efektivnost přidání horké rozdělovací vody do plastického těsta za účelem dosažení co nejkratší doby odležení cihlářských výrobků. Výsledkem experimentální části práce by tedy mělo být vyhodnocení optimální teploty rozdělovací vody.

Zkrácení doby odležení by zásadně ovlivnilo výrobu cihlářských prvků ve všech technologických závodech, protože většina z nich nedisponuje dostatečně velkým prostorem zajišťujícím kryté odležení suroviny. Dosáhlo by se tak celkového zrychlení výroby, tzn. zvýšení produktivity a zejména nižší ekonomické náročnosti, což by většina výrobců jistě uvítala.

2 TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části je nejdříve představena historie keramiky, využití cihlářských keramických výrobků v pozemním stavitelství a způsob jejich výroby. V dalších kapitolách jsou podrobně popsány odležárny a samotný proces odležení, který je jednou z nejdůležitějších fází technologického procesu výroby. Dále jsou zde shrnuty doposud publikované výsledky této problematiky a popsány normové postupy stanovení odleživosti.

2.1 Historie keramiky a cihlářství

Původ slova „keramika“ pochází z řeckého „keramos“ a byl tak původně označován roh, ze kterého se tehdy pilo. Poté se tak nazývaly všechny výrobky a nádoby z pálené hlíny. Počátky keramiky jsou zaznamenány ze starověké Číny v období 5. tisíciletí před naším letopočtem. Nejdříve byly vyráběny nádoby sloužící pouze pro uchování potravin, později se rozšířily i umělecké výrobky. První zmínka o užívání hrnčířského kruhu je datována ve 3. tisíciletí př. n. l. [4]

Příbuzným oborem hrnčířství je řemeslo zvané cihlářství. Vynález nové technologie pro výrobu cihel je zásluhou Sumerů v dávné Mezopotámii. První objevené cihly jsou z konce 5. tisíciletí před naším letopočtem a ze 4. tisíciletí před naším letopočtem. Těmito nejstaršími dochovanými cihlářskými výrobky jsou tvárnice z Uruku a Eridu.

Cihlářská výroba v Čechách se začala rozvíjet již v 9. Století. [1]

2.2 Cihlářské keramické produkty

Cihlářské výrobky jsou v současnosti jedním z nejpoužívanějších stavebních materiálů pozemních staveb. Ve stavebnictví tvoří v první řadě zdící materiály (cihly, tvarovky), dále střešní krytiny a stropní vložky (např. Miako) a různé prefabrikované dílce. Cihlářské výrobky ve vyspělých zemích zaujímají cca 7 % objemu stavebních materiálů a zaujímají tak třetí pozici v produkci stavebních hmot. [3]

Charakteristickými vlastnostmi cihlářských produktů je nasákavost, která se pohybuje v rozmezí 10 – 22 %. Dalšími fyzikálně – mechanickými vlastnostmi jsou pevnost v tlaku (3 – 60 MPa), objemová hmotnost (1000 – 2000 kg/m³). Tepelná vodivost cihlářských střepů je 0,5 – 1 W/m·K, teplotní roztažnost okolo 5x10⁻⁶ K⁻¹. Důležitou roli hraje také mrazuvzdornost. [3]

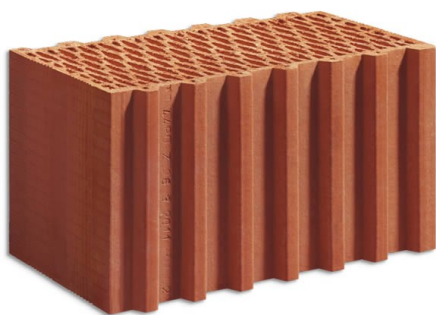
Dle využití rozdělujeme cihlářské výrobky do následujících kategorií:

- Cihlářské výrobky pro svislé konstrukce
- Cihlářské výrobky pro vodorovné konstrukce
- Cihlářské výrobky využitě na pálenou krytinu
- Ostatní výrobky pro speciální účely [3]

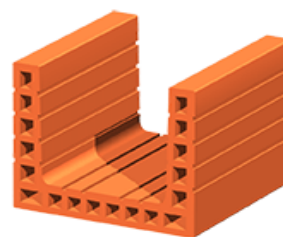
Cihlářské výrobky pro svislé konstrukce

Cihlářské výrobky pro svislé konstrukce jsou v oboru pozemní stavby nejrozšířenějším stavivem. Jejich charakteristickými vlastnostmi je dlouhodobá stabilita, dobré tepelně i zvukově izolační vlastnosti, nehořlavost (stupeň A dle ČSN 730823) a snadná recyklovatelnost. Zhotovuje se z nich obvodové zdivo, vnitřní nosné zdivo, zdivo z příček, komín a další neméně důležité konstrukce. Požární odolnost cihel pro vnější a nosné stěny je dle ČSN 73 0821 minimálně 120 minut a pro příčky je stanoveno 45 minut. [2]

Ukázka ze sortimentu cihlářských výrobků používaných pro svislé konstrukce



Obr. 2.1 – cihla děrovaná [16]

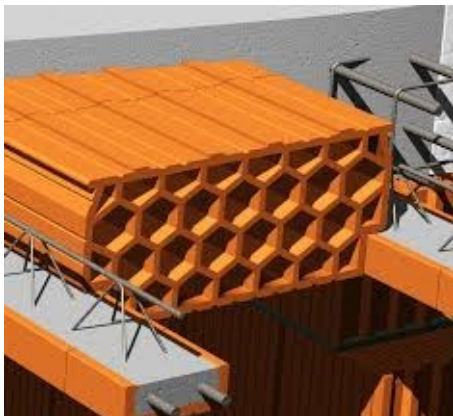


Obr. 2.2 – cihla věncová [20]

Cihlářské výrobky pro vodorovné konstrukce

Cihlářské výrobky spadající do této skupiny jsou opět nedílnou součástí každé stavby. Mohou tvořit stropy, překlady nad otvory, věnce, popřípadě ztracené bednění základových pasů. Mezi nejpoužívanější prvky patří stropní Miako vložky, stropní desky Hurdis, Armo panely, nosné překlady, ploché překlady, obloukové překlady. Většinou se tyto produkty kombinují s železobetonem a v případě použití keramické věncovky s tepelnou izolací. Jejich vlastnosti zajišťují velice dobrou tepelnou i zvukovou izolaci konstrukce.

Cihlářské prvky tvořící vodorovné konstrukce



Obr. 2.3 – Miako vložka Porotherm [17]



Obr. 2.4 - Hurdiska s kolmými čely a se šikmými čely [19]

Cihlářské výrobky využité na pálenou krytinu

Pálené keramické tašky patří mezi nejstarší používané střešní krytiny vynikajícími svými akumulacími schopnostmi a vhodným součinitelem prostupu tepla. Využívají se téměř 2000 let. Lze je využít na běžné sedlové střechy, ale také na valbové, polovalbové, pultové, stanové a mansardové střechy. Výroba pálených střešních tašek se zajišťuje tažením nebo ražením.



Obr. 2.5 – taška Románská 12, taška Francouzská 14 [16]

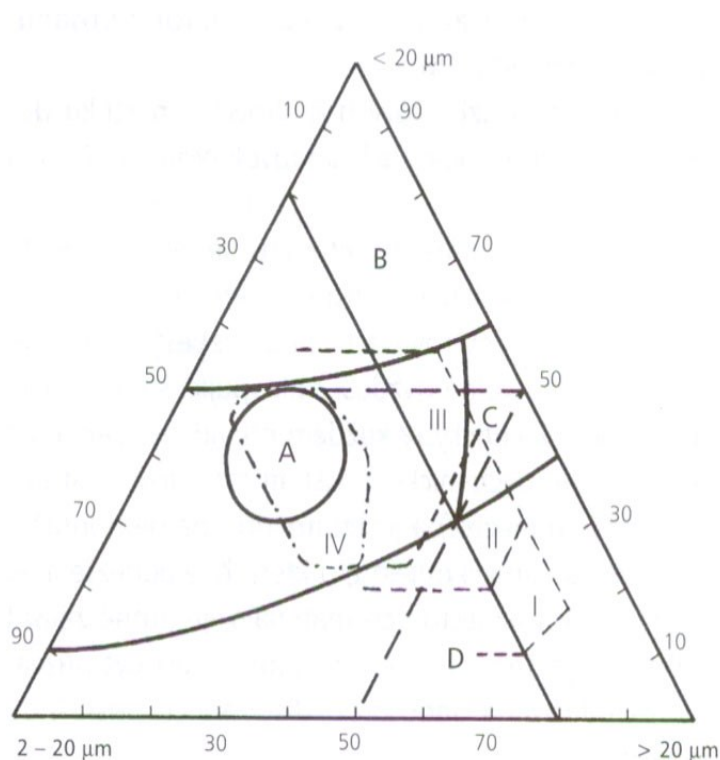
Cihlářské výrobky pro speciální účely

Do skupiny speciálních cihlářských výrobků patří drenážní trubky (trativody) různých průměrů, které jsou používány při odvodňování terénu. Dále jsou zde komínové tvarovky spolu s komínovými vložkami, dlažby, kanalizační cihly a také antuka. [11]

2.3 Keramický výrobní postup cihlářských výrobků

Pro výrobu cihlářských produktů jsou využívány zeminy, jejichž těžba probíhá především v blízkosti cihlářských závodů. Jedná se o spraše, sprašové hlíny, jílovce, slínovce, jíly a hlíny. Podíl jílových minerálů, kterými jsou např. illit a chlorit je na rozdíl od prachových zrn křemene, úlomků hornin a slidy téměř zanedbatelný. Mezi cihlářské keramické výrobky řadíme pórovité keramické produkty, pro které je charakteristická červená až červenohnědá barva, kterou způsobuje zejména obsah oxidů železa ve výrobních surovinách. Dále jsou ve výrobní směsi obsaženy přísady, jako např. ostřiva, která vylepšují především finální vlastnosti cihlářských produktů. Plastičnost těsta je dána poměrem jílové a neplastické složky. [2]

Klasifikace vhodnosti použití cihlářských zemin pro cihlářskou výrobu vychází z Winklerova trojúhelníkového diagramu, který vyznačuje oblasti granulometrického složení suroviny vhodné k výrobě: I plných cihel, II děrovaných cihel, III krytiny, IV tenkostěnných cihlářských výrobků.



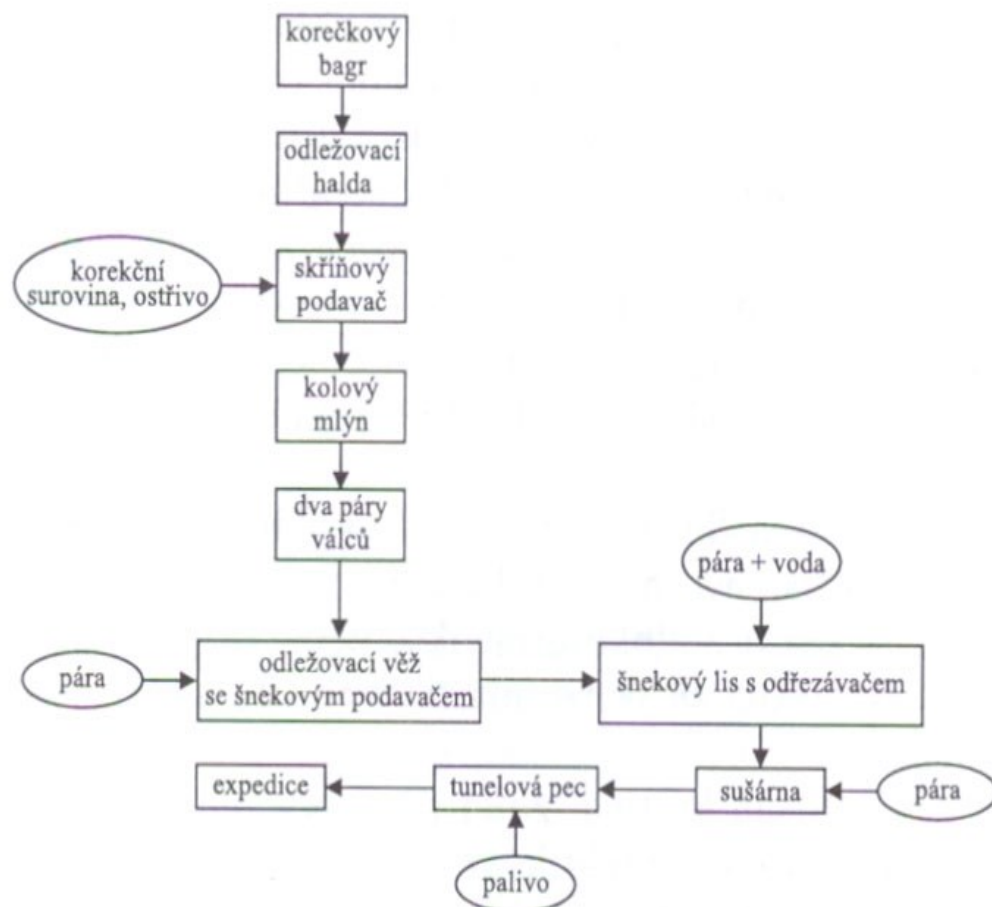
Obr. 2.6 - Klasifikační diagram cihlářských jílů a hlín podle Winklera [10]

A – oblast nejhutnější skladby suroviny, B – oblast vysokého smrštění, C – oblast nízké pevnosti střepu, D – oblast nízké plastické pevnosti tělesa

Jednotlivé fáze výroby cihlářských prvků

Samotný výrobní proces keramiky lze rozdělit do jednotlivých navazujících fází výroby.

- 1) Těžba surovin
- 2) Předúprava suroviny = haldování a odležení suroviny
- 3) Příprava suroviny = míšení, zdrobňování, homogenizace, ostření
- 4) Vytváření výrobků
- 5) Sušení
- 6) Výpal produktu
- 7) Skladování a expedice



Obr. 2.7 - Obecné technologické schéma cihlářské výroby [10]

2.3.1. Těžba suroviny

Suroviny pro výrobu cihlářských keramických prvků se těží pouze povrchovým způsobem na místě, které je označováno jako hlinišť. [2]

Samotná těžba suroviny může probíhat ve více etážích, ale tento způsob těžby je spíše výjimečný. Rozšířenější je těžba cihlářských surovin pouze v jedné etáži.

Mezi nejpoužívanější stroje na těžbu těchto nepevných cihlářských zemin patří korečková, kolesová a lopatová rypadla. Pro plochou těžbu se dále užívají dozery, skrejpry a grejdry. Surovina, která je již vytěžena musí být následně převezena na tzv. haldu (místo ukládky). Tato doprava může být zajištěna například pásovými dopravníky, nákladními automobily nebo kolejově.

2.3.2. Předúprava surovinové směsi

Vytěženou surovinu nelze ihned použít na výrobu cihlářských keramických výrobků. Jejím využití by měla předcházet určitá předúprava surovinové směsi. Po navržení vhodné skladby frakcí se provádí tzv. primární úprava výrobní směsi, při které dochází k haldování a plavení použitých surovin. Dopravení vytěžené suroviny na haldu nám zajišťuje promísení a hlavně určité odležení výrobní suroviny. [10]

2.3.3. Příprava surovinové směsi

Příprava surovinové směsi zahrnuje tyto procesy: mísení, zdrobňování a úprava vlhkosti.

Po haldování, které nám zajistí určité promísení a vyšší stejnorodost suroviny, je zahájena fáze mísení keramické výrobní směsi. Pro mísení jsou používány kolové mlýny, protlačovací mísidlo, různá talířová mísidla a dvouhřídelové mísidlo. Jedná se o velice důležitou a zejména u plastických těst také obtížnou fázi celého výrobního postupu.

Při mísení směsi je nutné vyvarovat se některým poznatkům. Např. mísením surovin s odlišnou zrnitostí, dochází k nehomogenitě celé směsi. Dále mícháním většího množství sypké suroviny se znatelně nižším obsahem kapaliny, se začnou ihned tvořit hrudky, které by se měli danou kapalinou rozstříkovat a rozmíchat.

Další částí výroby je zdrobňování, neboli drcení a mletí výrobní směsi. Zařízení určená k drcení jsou kolové mlýny, válce a kulové mlýny. [10]

2.3.4. Vytváření surovinové směsi

„Vytvářením surovinové směsi se rozumí převedení polydisperzního systému výrobní směsi v kompaktní systém, který má již konkrétní geometrické rozměry a hovoříme potom o „výlisku““. [1]

Ke změně tvaru surovinové směsi dochází vlivem působení vnějších sil, které se podílejí na změně vzájemné polohy částic směsi. Tento proces výroby je nevratný. Cihlářské keramické výrobky se vyrábějí tažením či ražením plastického těsta.

Vytváření tažením

Vytváření produktu tažením plastického těsta na vakuovém šnekovém lisu patří v dnešní době mezi převládající technologie výroby cihlářských výrobků. Princip procesu spočívá v protlačování plastického těsta speciálně tvarovaným ústím šneku. Podstatnou částí ústí vakuového šnekového lisu jsou trny, které zajišťují vytvoření dutin a také usměrněný tok plastického těsta. Dále jsou šnekové lisy opatřeny odřezávací, které dělí pásmo těsta na jednotlivé výlisky požadovaných rozměrů. Lisovací tlak je přibližně 1,5 MPa. Všechny cihlářské produkty vyráběné tímto způsobem mají přesně daný profil, tvar a rozměry.

Vytváření ražením

Ražení je technologie výroby sloužící především k výrobě ražené krytiny a celý tento proces probíhá na revolverových lisech.

2.3.5. Sušení

„Sušení keramiky je energeticky i technologicky náročný proces, při kterém se může vynaložit až 30 % veškeré energie potřebné na zhotovení výrobku“. [2]

Sušení je proces, při kterém přestupuje teplo ze sušicího média do sušeného výlisku a současně tak dochází k jejich látkové výměně. Jedná se o proces, při kterém se výrazně snižuje obsah vody ve výlisku. V důsledku odpařování vody, které je vyvoláno působením vysokých teplot dochází ke smršťování o 4 – 6 %. Běžně dochází při sušení k poklesu vlhkosti z 20 % na 1 – 1,5 %. Snížení vlhkosti je důležitý faktor pro další fázi výroby, kterou je výpal cihlářského produktu. Výlisek se po vysušení změní v tzv. výsušek, který má podstatně vyšší pevnost a další specifické vlastnosti. Sušení se

provádí v komorových nebo tunelových sušárnách. Teplota, při které sušení probíhá, se pohybuje okolo 80 °C. [2]

2.3.6. Výpal

Výpal lze popsat jako tepelné zpracování výsušku na určenou a předem definovanou teplotu výpalu. Výrobek ztrácí veškeré plastické vlastnosti a postupně nabývá působením fyzikálních, chemických a mineralogických dějů svých finálních vlastností. Charakteristickým jevem při výpalu je ztráta hmotnosti způsobená ztrátou vody žíháním a také smrštění, které je však nižší než v průběhu sušení. Z hlediska ekonomického hovoříme o velice náročné části procesu, na kterou připadá 30 – 50 % z celkové ceny produktu. Výpal cihlářských výrobních směsí probíhá podle pálicí křivky. [2]

Jednotlivé etapy výpalu jsou:

- Dosoušení
- Rozklady, přeměny, vyhořívání a počátek reakcí v tuhé fázi
- Zhutňování a slinování cihlářského střepu
- Chlazení

Pro vypalování cihlářských výrobků používáme nejčastěji tunelové pece s poměrně nízkou teplotou výpalu 900 – 1050 °C a dobou výpalu pohybující se okolo 30 – 35 hodin. Pece jsou vytápěny zemním plynem či elektrikou.

2.3.7. Skladování a expedice produktů

Výpalem a následným ochlazením cihlářských výrobků končí výrobní část a nastává neméně důležitá konečná fáze, kterou je skladování a expedice produktů. Před zaskladněním musí výrobky splnit podmínky tzv. kontroly kvality, která se provádí přímo na produktech a to jen vizuálně, nebo popřípadě poklepem. [10]

Pokud jsou požadavky na cihlářské výrobky splněny, je prováděno páskování, balení do smršťovací folie a poté umístění na palety.

2.4 Doba odležení

Dostatečná doba odležení je velice důležitým předpokladem pro zajištění dokonalé homogenizace, zlepšení plastičnosti cihlářské suroviny, zpracování a dosažení co možná nejlepších finálních vlastností cihlářských výrobků. Dokonalá homogenizace je z velké části ovlivněna množstvím vody, které je obsaženo v cihlářském těstě. Dochází zde k reakci obsažené vody s jílovými zrny a důsledkem této reakce je vznik micel a bobtnání ve struktuře těsta. Jílové minerály se začnou postupně rozkládat, přičemž síly mezi jednotlivými zrny se zvětšují a roste měrný povrch jednotlivých zrn. Během doby odležení dochází také ke znatelnému navýšení pevnosti ve smyku, tzv. tixotropní zpevňování. Odležení ovlivňuje zejména manipulační pevnosti a pórovitost a s rostoucí dobou odležení dochází k výraznému zlepšení reologických vlastností těsta. [1]

2.4.1 Doposud publikované výsledky principu odležení

Účinky odležení neboli stárnutí suroviny jsou kladné a prokazatelné hned několika výzkumy. Dodnes však není znám přesný princip odležení. Dle některých vědců, zabývajících se danou problematikou odležení, zde hrají důležitou roli chemické vlivy, jako je např. oxidace organických látek, změna elektrického náboje jílu atd. Dalším vysvětlením je zohlednění faktorů různých biologických vlivů, které se projevují uvolněním organických kyselin (kyselina glukonová, kyselina citrónová a kyselina šťavelová) ve fázi bakteriálního růstu, a to oxidací anorganických sirných či dusíkatých látek. Tyto kyseliny mohou poté rozpouštět železité a hlinité ionty obsažené ve struktuře jílu. Některé typy mikroorganismů mohou způsobovat i vylučování polysacharidů, následně snížení smrštění při sušení a zvýšení plasticity. Dále k zajištění lepších technologických vlastností přispívají také fyzikální faktory. V průběhu procesu dochází zejména k odpaření molekul vody ze vzorku, přičemž molekuly vody ze vzduchu začínají zaujímat stabilnější pozice. Díky zvýšené vlhkosti může dojít ke snadnějšímu rozmístění jednotlivých částic uvnitř testovaného vzorku. [14]

Vliv stárnutí na technologické vlastnosti surovin

Na dvou zcela odlišných surovinách byl proveden experimentální pokus ověřující vliv stárnutí suroviny na její technologické vlastnosti. Oba vzorky pocházely z Brazílie, přičemž první vzorek jílu pocházel z Itaboraí (Rio de Janeiro) a druhý vzorek hlíny ze Santa Gertrudes (São Paulo). Odebrané vzorky byly skladovány v uzavřených plastových sáčcích a poté byly v laboratoři na vzduchu sušeny a rozdrčeny. Takto upravené vzorky byly podrobeny vnitřnímu a venkovnímu stárnutí po dobu šesti měsíců. Venkovní stárnutí suroviny probíhalo ve dvoře za laboratoří v Rio de Janeiru. Surovina tedy byla vystavena střídavým účinkům slunečního i deštivého počasí. Zatímco vzorky uložené uvnitř laboratoře musely vzdorovat pouze mírným teplotním a vlhkostním změnám. Po uplynutí určité doby odležení bylo prováděno na surovinách měření enzymatické aktivity, která hodnotí mikrobiologické procesy v materiálu. Každá surovina byla rozdělena na čtyři zkušební vzorky, na kterých byla prováděna další měření. [14]

Tab. 2.1 – Technologické vlastnosti po odležení v laboratoři

Vzorek	Doba odležení [měsíce]	Neslinutý			Slinutý		
		OH [g/cm ³]	Pevnost v ohybu [MPa]	Ztráta žháním [%]	OH [g/cm ³]	Pevnost v ohybu [MPa]	Nasákavost [%]
Itaboraí červený	0	1,96	2,06	14,78	1,87	5,19	17,72
	1	1,97	2,36	14,52	1,97	6,70	16,95
	2	1,95	2,07	14,60	1,92	5,24	17,26
	4	1,92	2,04	14,73	1,89	5,12	17,32
	6	1,90	1,77	14,38	1,84	4,45	19,79
Itaboraí zelený	0	2,19	2,24	14,73	2,21	6,52	9,93
	2	2,16	2,94	14,91	2,10	7,52	9,74
	4	2,18	2,46	14,76	2,15	7,95	9,57
	6	2,17	2,33	16,28	2,21	7,74	9,69
Santa Gertrudes	0	2,07	3,00	8,76	2,33	28,03	0,35
	1	2,04	3,53	8,96	2,30	31,39	0,33
	2	2,10	3,00	9,25	2,39	29,15	0,45
	4	2,15	2,26	8,72	2,40	27,16	1,27
	6	2,03	2,16	7,14	2,38	26,77	2,22

Zdroj: [14], vlastní zpracování

Tab. 2.2 – Technologické vlastnosti po venkovním odležení

Vzorek	Doba odležení [měsíce]	Neslinutý			Slinutý		
		OH [g/cm ³]	Pevnost v ohybu [MPa]	Ztráta žháním [%]	OH [g/cm ³]	Pevnost v ohybu [MPa]	Nasákavost [%]
Itaboraí červený	0	1,96	2,06	14,78	1,87	5,19	17,72
	1	2,01	2,67	15,19	1,98	7,15	16,96
	2	2,07	3,30	15,42	2,02	7,42	16,75
	4	1,94	2,27	14,81	1,88	5,51	17,20
	6	1,95	1,75	14,54	1,90	5,93	17,62
Itaboraí zelený	0	2,19	2,24	14,73	2,21	6,52	9,93
	2	2,25	2,63	15,09	2,20	6,81	9,69
	4	2,25	2,85	14,93	2,23	7,26	9,72
	6	2,05	1,86	16,36	2,08	4,85	10,50
Santa Gertrudes	0	2,07	3,00	8,76	2,33	28,03	0,35
	1	2,25	2,63	7,60	2,20	30,56	0,24
	2	2,25	2,85	7,03	2,23	27,60	0,95
	4	2,05	1,86	7,83	2,08	27,19	1,08
	6	2,19	2,72	7,02	2,24	23,32	1,27

Zdroj: [14], vlastní zpracování

Experimentem byl potvrzen pozitivní vliv odležení (stárnutí) materiálu na technologické vlastnosti vzorku. Podstatnou roli zde hrály čas a místo uložení suroviny. Vyšší účinnosti odležení bylo dosaženo u vzorku s vyšší počáteční vlhkostí a plasticitou. Z toho plyne, že efektivnost stárnutí suroviny je závislá na původních vlastnostech vzorku, kterými jsou plasticita, složení, vlhkost a rozdělení velikosti částic. [14]

Vliv biologických faktorů na odležení surovin

Pro následující experiment byly opět použity vzorky z Brazílie. Jeden vzorek z každé oblasti byl použit na prvotní charakterizaci daného materiálu a dva vzorky obou surovin byly sterilizovány pomocí ozáření a autoklávu. Čtvrtý vzorek pak sloužil pouze pro kontrolu měření. Po uplynutí doby odležení 6 měsíců byly laboratorně zjišťovány fyzikální, chemické i technologické vlastnosti. Mimo vzorky sterilizované v autoklávu byly zkoušeny i vzorky nesterilizované a ty byly uloženy ve stejných klimatických podmínkách. [15]

Tab. 2.3 – Technologické vlastnosti po sterilizaci a odležení

Vzorek	Odežení [měsíce]	Sterilizace	Vlhkost [%]	EA [μg/min·g]	Redoxní potenciál	Ph		
						H ₂ O	KCl	Δ Ph
Itaboraí	0	NE	7,12	0,0740	98,90	4,8	3,3	-1,5
	6	NE	7,14	0,0012	90,70	4,4	3,1	-1,3
	6	AUTOKLÁV	4,43	0,0023	86,30	4,3	2,9	-1,4
	6	OZÁŘENÍ	7,09	0,0177	143,30	4,7	3,2	-1,5
Santa Gertrudes	0	NE	3,70	0,0378	-43,20	7,8	5,9	-1,9
	6	NE	3,53	0,0232	-85,00	8,9	7,3	-1,6
	6	AUTOKLÁV	2,81	0,0000	-35,60	6,9	4,9	-2,0
	6	OZÁŘENÍ	3,35	0,0053	-66,60	7,3	5,4	-1,9

Zdroj: [15], vlastní zpracování

Výsledkem tohoto experimentu byl fakt, že změny chemických vlastností nejsou jednoznačně způsobené obsahem původních mikroorganismů. Výsledkem experimentu je fakt, že změny technologických vlastností vlivem odežení museli být způsobeny spíše fyzikálními vlastnostmi jednotlivých surovin.

U vzorku z Itaboraí bylo dosaženo lepších výsledků odežení, které byly ovlivněny původní plasticitou a vlhkostí suroviny. Naopak vzorek ze Santa Gertrudes vykazoval nižší plasticitu i nižší obsah vlhkosti, což se také odrazilo na výsledcích prováděných laboratorní zkoušek. Dá se tedy říci, že nízká vlhkost suroviny má negativní vliv na proces odežení. [15]

2.4.2. Primární odežení surovin

Primární odežení cihlářské suroviny je zajištěno již v počátku výrobního procesu haldováním, ke kterému dochází ihned po vytěžení dané suroviny. Jedná se o tzv. předúpravu suroviny, která je velice jednoduchá. Spočívá ve vrstvení suroviny na haldy, které mohou být různého tvaru. Vzniklé vrstvy by se měly průběžně zvlhčovat, aby došlo k nabobtnání jednotlivých zrn jíloviny. Postupným odebíráním suroviny z haldy se pak jednotlivé druhy suroviny vzájemně promísí a tím se dosáhne výrazně lepší stejnorodosti suroviny. Dodržování zmíněných zásad vede k výraznému zlepšení reologických vlastností těsta. [10]

Zejména v zimním období při nižších teplotách je nutné haldy přikrývat a zamezit tak promrznutí uskladněné suroviny. [12]

Sklady vytěžených surovin se nachází většinou mimo prostor úpravny v blízkosti cihelny a zajišťují tak nepřetržitou výrobu cihlářských výrobků i v zimě a nepříliš příznivém počasí. Doba odležení je však z velké části ovlivněna kapacitou daného skladu a průměrnou spotřebou suroviny.

Průměrná délka doby odležení se pohybuje v rozmezí 3 až 14 dní a nejefektivnější je již v prvních dnech. [1]



Obr. 2.8 - Haldování suroviny (Cihelna Hrachovec u Valašského Meziříčí, která již není v provozu) [10]

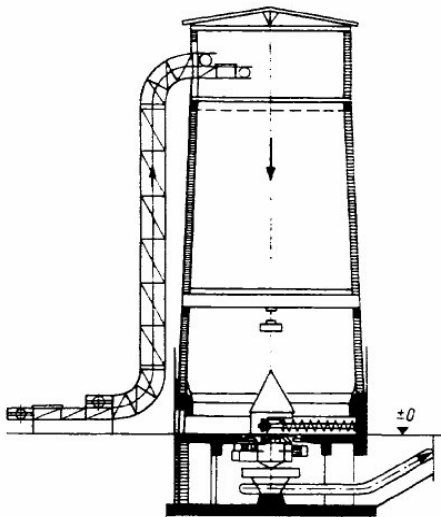
2.4.3. Odležárny cihlářských surovin

Pojmem odležárny rozumíme objekty zajišťující technologický proces zvaný odležení a dále homogenizaci zpracovávané suroviny. Odležení lze provádět buď v odležovacích věžích nebo ve velkokapacitních odležárnách, které nabízejí relativně dlouhodobé odležení směsi. Při tomto procesu dochází k další homogenizaci výrobní směsi. [2]

Dá se říct, že odležení v odležárnách připomíná již zmiňované haldování vlhké suroviny v krytém prostoru. Vrstvení suroviny je zde zajištěno převážně různými dopravními pásy. [12]

Další důležitou úlohou, kterou odležárny splňují, je provozní funkce zásoby suroviny, jejíž výhodou je nezávislost na klimatických podmínkách. Surovina, která je vlhká, nebo již zpracovaná se uloží v temperovaných prostorách (haly, věže) a nemůže dále dojít k jejímu zamrznutí. [1]

„Odležení v odležovacích věžích je krátkodobé, pouze po dobu několika hodin až dnů bezprostředně před zpracováním suroviny.“ [12]



Obr. 2.9 - Odležovací věž plněná elevátorem a vyprazdňovaná spodem středem pomocí šneku [1]

V moderních cihelnách a technologických závodech zajišťují odležení suroviny boxové odležárny, které mají mnohem větší kapacitu než starší skříňové podavače. Tento typ odležáren zajišťuje dokonalejší homogenizaci a zásobu suroviny až na 10 dní. [13]



Obr. 2.10 - Boxové odležárny v Cihelně Hevlín s celkovou kapacitou až 6000 m³ [13]

2.5 Známé možnosti urychlení odležení

Mezi již vyzkoušené a osvědčené metody urychlení odležení cihlářských výrobních směsí patří propařování těsta, proteplování těsta a přidání sulfitového výluhu. Tyto metody jsou podrobně popsány níže.

2.5.1 Proteplování plastického těsta

Pokud se při výrobě plastického těsta použije teplá voda, hovoříme o tzv. proteplování těsta. Při proteplování dochází k rychlému průniku teplé vody do mikropórů či krystalové mřížky vytvářecí směsi a zároveň k menšímu povrchovému napětí ve struktuře těsta. [1]

Důvodem zvyšování teploty plastického těsta je v první řadě dosažení lepší homogenity směsi a zpracovatelnosti plastického těsta při nižší spotřebě rozdělovací vody. Dále je možné ušetřit na energiích jednotlivých úpravářenských strojů a energii spotřebované při sušení (rychlost sušení je možné zvýšit a proces sušení se tak celkově zkrátí). Proteplování, popř. propařování má také pozitivní účinek na velikosti pórů (průměr pórů se postupně zmenšuje). [5]

Využitím metody proteplování těsta je možné získat lepší technologické vlastnosti produktu (např. pevnost), ale zvolením nevhodné teploty rozdělovací vody může dojít i ke zhoršení finálních vlastností cihlářského produktu.

2.5.2 Propařování plastického těsta

V případě, kdy se pro urychlení procesu odležení využívá horká pára, se jedná o metodu propařování, která je v praxi častěji využívána než proteplování těsta. [1]

Propařování cihlářských směsí však může být účinné pouze v případě, že jsou splněny všechny dané podmínky výroby. První z podmínek je použití páry při fázi homogenizace surovin a dodržení doby vpouštění páry, která by měla být kratší než 20 minut a delší než 1 minuta. Dále by mělo platit, že tlak páry se pohybuje v rozmezí 150 až 300 kPa a teplota je cca 50 °C. Důležitým faktorem je také zachování kontinuity toku suroviny a páry. [5] Jak již bylo zmíněno v úvodu této bakalářské práce, vlastnosti těsta, které bylo propařováno, se po 72 hodinách rovnají vlastnostem těsta nepropařovaného, které je již 10 dní odležováno. [1]

2.5.3 Použití ztekucovadla – sulfitového výluhu

Třetí možností jak snížit množství rozdělovací vody a současně tak ušetřit energii v průběhu sušení, je použití ztekucovadla v podobě sulfitového výluhu. [5]

Sulfitový výluh je organická kapalná látka, která vzniká jako vedlejší produkt při výrobě buničiny. Lze ho využít jako plastifikátor do betonu, dále na briketaci uhlí i uhelného prachu, na výrobu kvasného etanolu a dalších produktů. V této problematice může být použitý jako ztekucovadlo, které by mělo zajistit snížení potřebného množství rozdělovací vody při zpracovávání těsta i snížení spotřeby tepla při sušení. (Průměrná spotřeba tepla současných sušáren se pohybuje v rozmezí 3200 až 9200 kJ na jeden kg odpařené vody). [18]

Princip všech ztekucovadel v keramice spočívá ve výměně jednotlivých kationtů, přičemž nejpoužívanější jsou elektrolyty na bázi sodných kationtů. Nebo mohou fungovat jako ochranné koloidy (huminové kyseliny, lignosulfonan sodný atd.). V oboru cihlářství je možné využívat ztekucovadel zejména při vytváření plastického těsta, ale u nás se tato přísada příliš nepoužívá. Při jejím případném použití však hraje velice podstatnou roli složení zeminy, protože surovina s nízkým obsahem jílových minerálů nemusí být vždy pro ztekucení vhodná.

Autorem první publikované zmínky o použití ztekucovadel u cihlářského plastického těsta je Kallauner. Snížení potřebného množství vody dosáhl přidáním elektrolytů (jednalo se o směs 0,5% kyseliny sírové a 0,5% kyseliny solné). Závěrem jeho výzkumu bylo doporučení kombinovat přidání vyhovujícího elektrolytu a vytváření těsta s jeho odvzdušněním. [18]

Druhým experimentem týkajícím se využití sulfitového výluhu jako přísady při výrobě keramiky se zabývali Janák a Staník, kteří se opět pokoušeli o snížení množství rozdělovací vody. Při svém výzkumu přidávali do cihlářského těsta sulfitový výluh, sodu, vodní sklo a směs vodního skla a sody. Při vyhodnocení došli k názoru, že nejúčinnějším řešením je přísada sulfitového výluhu. Na 1 % přidané sušiny se snížil obsah vody zhruba o 1,4 % při uvažování celkové hmotnosti plastického těsta. [18]

Na základě provedení tohoto experimentu se použitím sulfitových výluhů začali nadále věnovat i Prof. Ing. Dr. Matějka a Ing. Krajčí. Tito pánové ověřovali vliv přidání sulfitových výluhů na vlastnosti plastického těsta a k výzkumu použili čtyři zkušební vzorky. Výstupem provádění druhého pokusu se sulfitovými výlohy byly tyto poznatky:

- **snížení množství rozdělovací vody** – přidáním 20% roztoku přísady se snížilo potřebné množství vody téměř zanedbatelně a naopak použitím 0,5% roztoku byl rozdíl prokazatelný
- **nepatrné zpomalení procesu sušení** – proces sušení u těsta s přidáním sulfitem se mírně zpomalil
- **výrazné navýšení mechanické pevnosti výsušků** – s rostoucí koncentrací a prodlužující se dobou odležení bylo dosaženo výrazně vyšších mechanických pevností u zkušebních vzorků
- **možnost zkrácení doby odležení** – použitím plastifikační přísady v podobě sulfitu bylo dosaženo rychlejšího nárustu pevností, naskytuje se zde tedy možnost zkrácení doby odležení [6]

Rimpel a Rehm prováděli výzkum na 6 zkušebních vzorcích a nejlepších výsledků ve snížení množství záměsové vody dosáhli použitím ztekucovadla na bázi polyfosfátu sodného. Výsledky účinnosti přísady u jednotlivých druhů zemin se bohužel lišily a nebylo tak možné prokázat blahodárný vliv přísad na ztekucení plastických cihlářských těst.

Tuto teorii potvrdili i Junge a Rimpel, jejichž experimenty na dvou odlišných zkoušených jílech dosáhly různých výsledků. V prvním případě bylo možné použít menší množství rozdělovací vody, ale druhý jíl byl shledán jako neztekutitelný.

Dalšími autory, kteří se tentokrát zaměřili na ovlivnění vlastností plastického těsta účinkem přidaného draselného vodního skla, byli Kühl a Krčmar. Jejich výsledky byly přesvědčivější, než v předchozím případě. Byly zde potvrzeny velice pozitivní účinky tripolyfosfátu sodného na snížení množství vody a na vlastnosti cihlářského keramického střepu. [18]

Důvodem úvahy o přidávání sulfitových výluhů byla už tehdy hlavně snaha ušetřit na nákladech, které jsou spojené s výrobou. Sulfitové výluhy jsou však odpadem a jejich pořizovací cena by byla opravdu nízká.

Předchozí popsané pokusy a experimenty s použitím sulfitových výluhů bohužel nevykazují natolik přesvědčivé a prokazatelné výhody (mimo poměrně vysokou hodnotu dosažené pevnosti), aby jejich využívání bylo zařazeno do běžného procesu výroby cihlářských prvků, probíhajících v současných výrobních závodech.

2.6 Stanovení odleživosti dle ČSN 72 1565 část 9

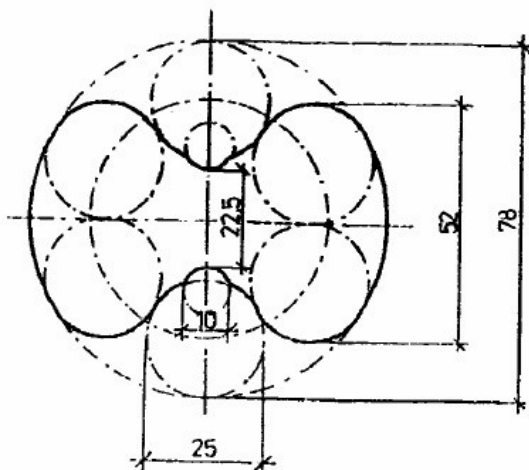
Zkouška stanovení odleživosti se skládá z odleživosti za studena a odleživosti za tepla. Platí zde norma pro stanovení odleživosti cihlářských zemin a výrobních směsí. Zkouška v podstatě spočívá ve stanovení závislosti pevnosti v tahu zkušebních tělísek na jejich době odležení. Zkušební tělísko má tvar osmičky, která má plochu průřezu v jejím nejužším místě 500 mm^2 . [1]

U odleživosti za studena je stanovována závislost tahového napětí na čase pro těsto, které je uloženo při teplotě 20°C . Přičemž z těchto dvou sledovaných veličin se následně vyhodnotí optimální hodnota odleživosti za studena.

U odleživosti za tepla se opět stanovuje závislost tahového napětí na čase, ale tentokrát pro těsto, které je uloženo při teplotě 60°C . Optimální odleživost se určuje stejně jako u odleživosti za studena.

2.6.1 Postup zkoušky při stanovení odleživosti za studena

Z umíchaného plastického těsta se vytvoří kvádr, který se poté zabalí PVC folií a následně vloží do exsikátoru s vodou. Okolní teplota v místnosti by měla být v rozmezí laboratorní teploty, tj. $20 \pm 4^\circ\text{C}$. Z těsta odleženého při těchto podmínkách se vytvoří 5 zkušebních tělísek tvaru osmičky a na nich se v přístroji stanoví tahová únosnost.



Obr. 2.11 - Osmička dle Matějky [1]

Stanovení tahové únosnosti se provádí nejdříve před uložení těsta, poté v prvních 10 dnech po každých 24 hodinách a následující dny po 48 hodinách.

Zkouška se dá ukončit i dříve, ale jen v případě, že tahová únosnost přestane výrazně stoupat. Výsledkem je hodnota aritmetického průměru vypočtená pro každý časový interval. Zbývající část osmičky se dále využívá pro stanovení vlhkosti dle ČSN 72 1565 část 1.

2.6.2 Postup zkoušky při stanovení odleživosti za tepla

Připravené zkušební vzorky hranolového tvaru se zabalí do PVC fólie a poté jsou vkládány na dřevěný rošt v klimatizační skříni, popřípadě do sušárny, která je vyhřátá na 60 ± 3 °C. Při zkoušce se vytváří jeden hranol navíc a na něm je následně měřena teplota těsta.

Z takto připraveného protepleného těsta se zhotoví 4 zkušební tělesa opět tvaru osmičky (dle Matějky) stejně jako u odleživosti za studena.

Nakonec jsou zkušební vzorky namáhány tahem. Zkouška únosnosti v tahu se provádí ihned po dosažení teploty těsta 60 °C a během prvního dne se opakuje cca v pěti intervalech přibližně po hodině. V dalších dnech se stanovuje tah po 6 hodinách, tj. dvakrát denně. Zkouška se běžně provádí během čtyř dnů, ale pokud únosnost v tahu přestane vzrůstat, je možné stejně jako u odleživosti za studena zkoušku stanovení odleživosti ukončit dříve.

3 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části budou porovnány vlastnosti zkušebních vzorků vytvořených z jednoho druhu jílu v závislosti na teplotě rozdělávací vody a době odležení jednotlivých plastických těst.

3.1 Postup vytváření a zkoušení plastických těst

Pro účel provádění experimentu této bakalářské práce jsem použila jeden druh zeminy, a to jíl Novosedly. Z této suroviny jsem v kombinaci s vodou o různé teplotě vytvořila tři plastická těsta. Na přípravu prvního těsta jsem použila vodu volně tekoucí v prostorách laboratoře (teplota 25 °C). A pro porovnání vlivu teploty vody na vlastnosti cihlářských těst jsem do dalších těst použila vodu o teplotě 50 °C a 60 °C.

Tab. 3.1 – Receptury připravených těst

Označení těsta	hmotnost jílu [g]	hmotnost vody [g]	teplota vody [°C]
T1	1000	250,02	25
T2	1000	247,62	50
T3	1000	244,03	60

Zdroj: vlastní zpracování

Ihned po zpracování jednotlivých těst jsem stanovila deformační poměry pomocí Pfeifferkornova přístroje a vlhkosti na vzorcích o váze cca 10 g, které jsem vysušila v sušárně. Takto připravená plastická těsta jsem zabalila do igelitu a nechala uložené v laboratoři. Zhruba po čtyřech hodinách jsem opakovala stanovení deformačního poměru a vlhkosti.

Navíc jsem z každého uloženého těsta zhotovila ve formě pro stanovení odleživosti dvě zkušební osmičky, na kterých jsem následně prováděla měření únosnosti v tahu. Všechny tyto měření byly dále opakovány po 24 a 48 hodinách uplynutých od zpracování surovin.



Obr. 3.1 – Osmička z plastického těsta (zdroj: vlastní zpracování)

Po ukončení posledního měření únosnosti v tahu jsem vytvořila za pomoci kovové formy a dusadla zkušební cihličky o rozměrech 100 x 50 x 20 mm. Cihličky jsem opatřila úhlopříčnými otisky posuvného měřidla ve vzdálenosti 80 mm a nechala jsem je na roštu v laboratoři až do ustálení vlhkosti, přičemž jsem je chodila v pravidelných intervalech měřit a vážit.



Obr. 3.2 – Vzorky vytvořené z plastického těsta (zdroj: vlastní zpracování)

Po dosažení ustálené vlhkosti jsem všechny vzorky pozvolna dosušila v sušárně. Z naměřených hodnot jsem stanovila délkové změny smrštěním a nakonec jsem na vysušených vzorcích prováděla zkoušku pevnosti v tahu za ohybu na Michaelisově přístroji. Zbylé vzorky byly vypáleny a následně jsem na nich opět stanovila délkové změny pálením a pevnost v tahu za ohybu.

3.2 Provádění zkoušky

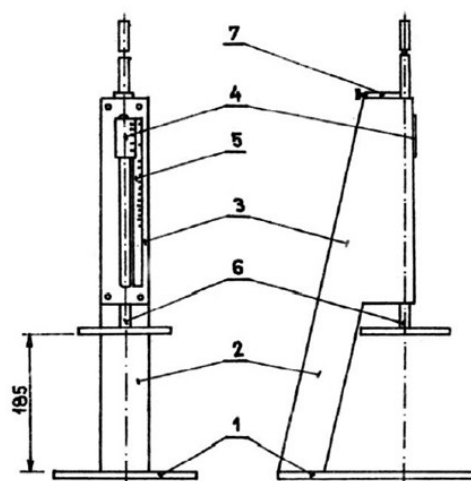
3.2.1 Stanovení optimální vlhkosti podle Pfeffekorna ČSN 72 1074

Teorie:

Tato laboratorní metoda slouží k určení plastičnosti hmoty nepřímo. Určuje se pomocí deformace válečku, která nastává v důsledku dopadu desky. Používají se zde zkušební vzorky o těchto rozměrech: $\varnothing 33 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ a výška $40 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$. [4]

Legenda:

- 1 podložka
- 2 nosný rám
- 3 uložení vodící tyče
- 4 nonius
- 5 milimetrová stupnice
- 6 vodící tyč s padací deskou
- 7 spoušť



Obr. 3.3 – Schéma Pfefferkornova přístroje

Postup zkoušky stanovení deformačního poměru a vlhkosti vzorků:

Nejdříve jsem si vytvořila z plastického těsta o vhodné konzistenci zkušební vzorky ve tvaru válečků. Poté jsem si vyrovnala nulovou značku noniové stupnice zároveň se spodní ryskou hlavní stupnice. Po vyrovnání stupnice jsem zvedla závaží a zkušební váleček jsem umístila na základní desku přístroje a s přesností na 0,1 mm jsem změřila jeho výšku. Následně jsem opět zvedla závaží a vytážením kolíčku jsem závaží spustila na zkušební vzorek, který jsem znovu změřila.

Z každého plastického těsta byl v pravidelných intervalech odebírán vzorek o hmotnosti cca 10 g, který byl vysušen v sušárně na 110 °C a poté byla výpočtem stanovena vlhkost.

Výpočet deformačního poměru:

$$d = \frac{h_i}{h_0} [-]$$

h_i ...výška válečku po deformaci [mm]

h_0 ...výška válečku před deformací [mm]

Vzorce pro výpočet vlhkosti a optimální vlhkosti [24]:

$$w = \frac{m_z - m_s}{m_s} \times 100 \quad [\%]$$

m_z ... hmotnost vlhkého vzorku [g]

m_s ... hmotnost vysušeného vzorku [g]

$$w_{opt.} = w_1 + \frac{w_2 - w_1}{d_2 - d_1} \times (d - d_1) \quad [\%]$$

w_1 ... vlhkost prvního (tužšího) vzorku [g]

w_2 ... vlhkost druhého vzorku [g]

d_1 ... deformační poměr prvního vzorku [-]

d_2 ... deformační poměr druhého vzorku [-]

Tab. 3.2 – Naměřené hodnoty plastického těsta

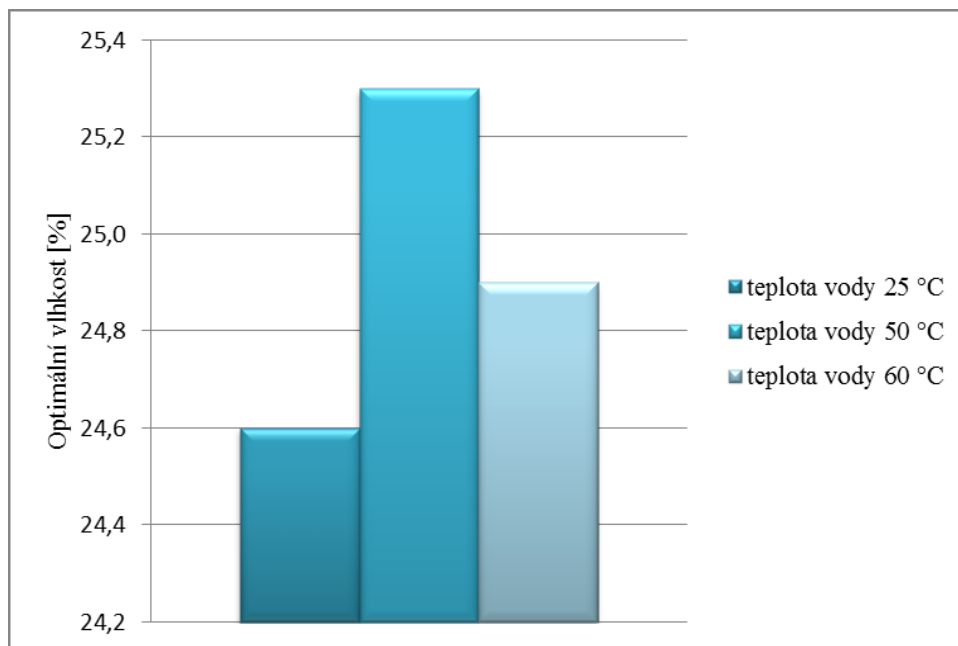
Doba odležení	Plastické těsto	h0 [mm]	hi [mm]	d [-]	mz [g]	ms [g]	w [%]
Po zpracování	T1 (25 °C)	40,22	22,31	0,55	11,43	9,09	25,74
	T2 (50 °C)	40,69	22,88	0,56	11,81	9,30	26,99
	T3 (60 °C)	39,96	22,01	0,55	11,52	9,16	25,76
Po 4 hodinách	T1 (25 °C)	40,91	24,96	0,61	15,49	12,42	24,72
	T2 (50 °C)	40,16	23,03	0,57	12,45	9,82	26,78
	T3 (60 °C)	39,99	21,89	0,55	10,02	7,98	25,56
Po 24 hodinách	T1 (25 °C)	40,21	25,63	0,64	11,62	9,40	23,62
	T2 (50 °C)	39,98	24,13	0,60	8,52	6,75	26,22
	T3 (60 °C)	40,12	24,93	0,62	9,23	7,43	24,23
Po 48 hodinách	T1 (25 °C)	40,06	25,98	0,65	7,49	6,07	23,39
	T2 (50 °C)	40,03	24,42	0,61	7,39	5,92	24,83
	T3 (60 °C)	40,01	25,59	0,64	7,86	6,33	24,17

Zdroj: vlastní zpracování

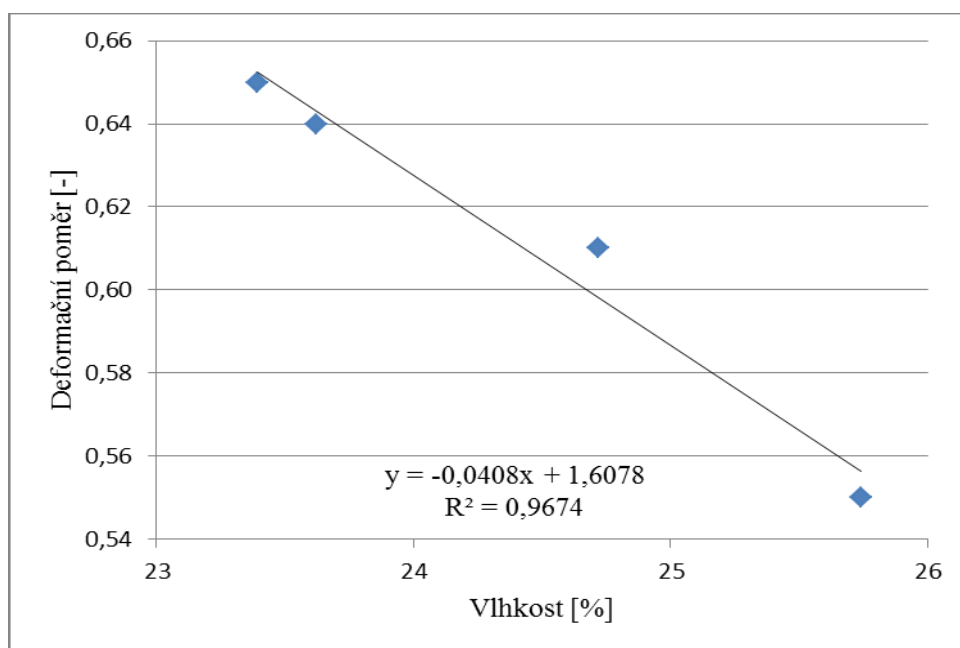
Tab. 3.3 – Výpočet optimální vlhkosti u jednotlivých plastických těst

Plastické těsto	W1 [%]	W2 [%]	d [-]	d1 [-]	d2 [-]	Wopt. [%]
T1 (25°C)	23,39	25,74	0,60	0,65	0,55	24,6
T1 (50°C)	24,83	26,99	0,60	0,61	0,56	25,3
T1 (60°C)	24,17	25,76	0,60	0,64	0,55	24,9

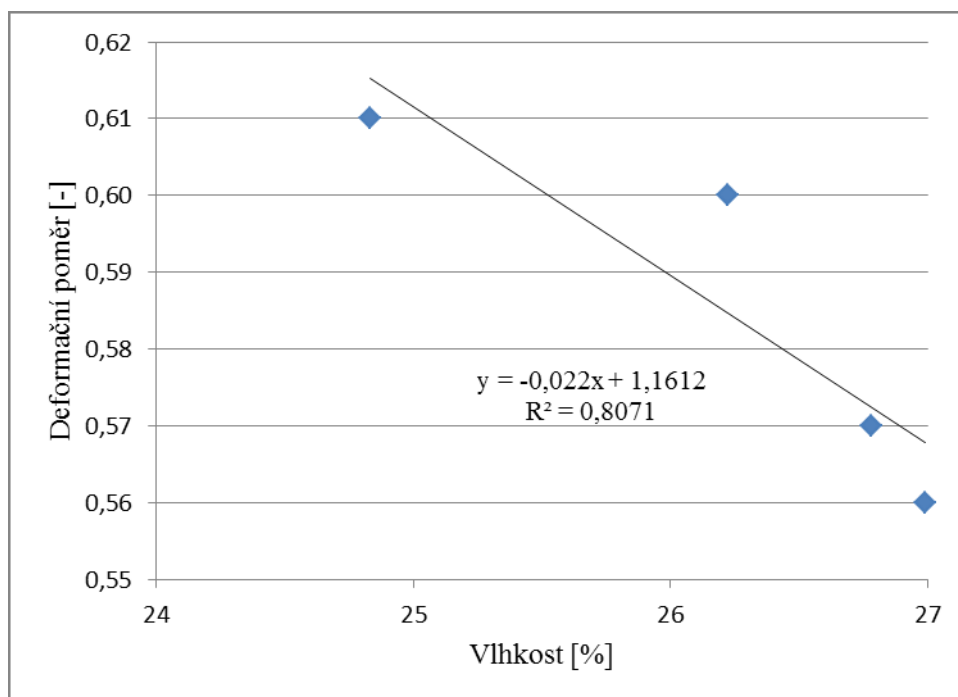
Zdroj: vlastní zpracování



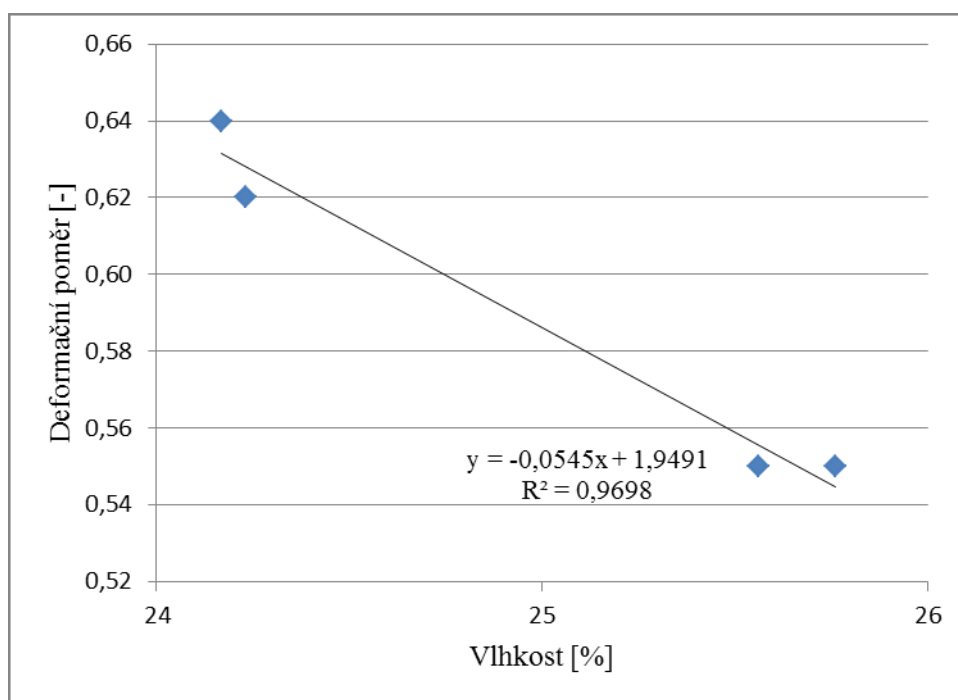
Graf 3.1 – Znázornění optimální vlhkosti jednotlivých těst (zdroj: vlastní zpracování)



Graf 3.2 – Znázornění závislosti vlhkosti na deformačního poměru u těsta s teplotou vody 25 °C (zdroj: vlastní zpracování)



Graf 3.3 – Znázornění závislosti vlhkosti na deformačního poměru u těsta s teplotou vody 50 °C (zdroj: vlastní zpracování)



Graf 3.4 – Znázornění závislosti vlhkosti na deformačního poměru u těsta s teplotou vody 60 °C (zdroj: vlastní zpracování)

Z naměřených hodnot a grafů je vidět, že se vlhkost u všech plastických test postupně nepatrně snižovala a naopak hodnota deformačního poměru stanovovaného Pfefferkornovým přístrojem se zvyšovala. S ohledem na měnící se vlhkost v průběhu experimentu, mohlo dojít k ovlivnění dalšího měření. Mírné snižování vlhkosti mohlo být zapříčiněno manipulací s jednotlivými těsty při provádění zkoušek.

Dle normy pro stanovení odleživosti plastického těsta by se neměla vlhkost na konci měření lišit o více jak 10 % od počáteční vlhkosti a toto kritérium bylo splněno.

Optimální vlhkost připravených test se pohybovala v rozmezí 24 – 25 %.

3.2.2 Stanovení odleživosti za studena plastického těsta

Teorie:

Zkouška stanovení odleživosti za studena byla provedena dle ČSN 72 1565 - 9. Podstatou zkoušky tedy bylo odležení třech plastických test s rozdílnou teplotou přidané vody, které byly zabaleny v igelitu a uloženy v prostředí laboratoře při teplotě 20 °C.

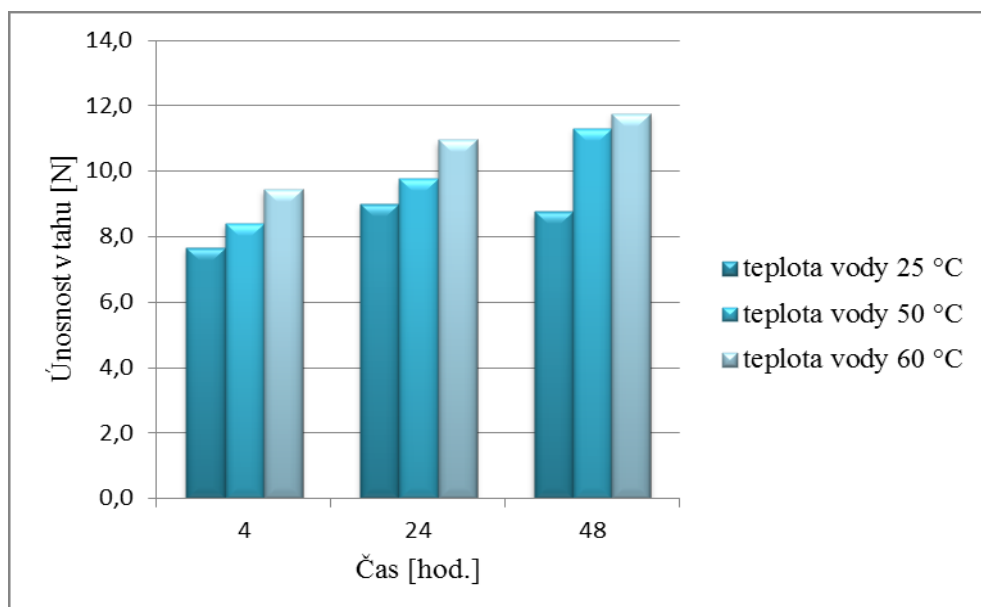
Postup:

V pravidelných intervalech (po 4, 24 a 48 hodinách od zpracování plastického těsta) byly z každého těsta zhotoveny dvě zkušební osmičky vytvořené formou dle Matějky. A na těchto zkušebních vzorkách zatěžováním v lisu zkoušela únosnost v tahu až do porušení nejužšího místa každé osmičky.

Tab. 3.4 – Naměřené hodnoty únosnosti v tahu na zkušebních osmičkách

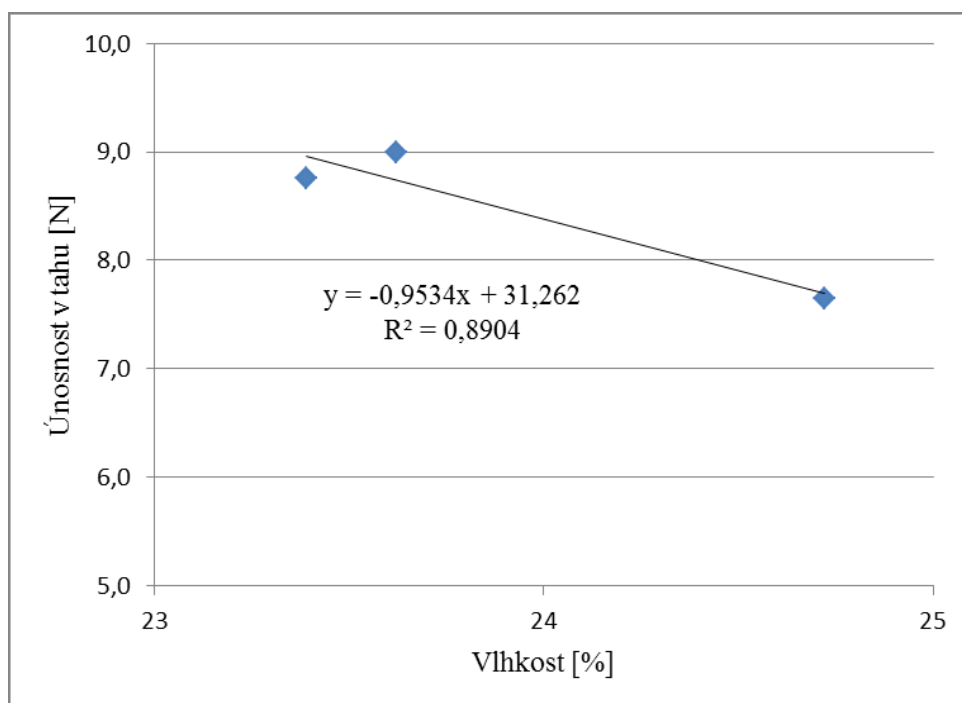
Plastické těsto	Měření po 4 hodinách		Měření po 24 hodinách		Měření po 48 hodinách	
	Ut [N]	ØUt [N]	Ut [N]	ØUt [N]	Ut [N]	ØUt [N]
T1 (25 °C)	10,4	7,65 ± 2,75	7,7	9,00 ± 1,30	7,8	8,75 ± 0,95
	4,9		10,3		9,7	
T1 (50 °C)	9,5	8,40 ± 1,10	9,0	9,75 ± 0,75	12,7	11,3 ± 1,40
	7,3		10,5		9,9	
T1 (60 °C)	11,1	9,45 ± 1,65	10,7	10,95 ± 0,25	10,7	11,75 ± 1,05
	7,8		11,2		12,8	

Zdroj: vlastní zpracování

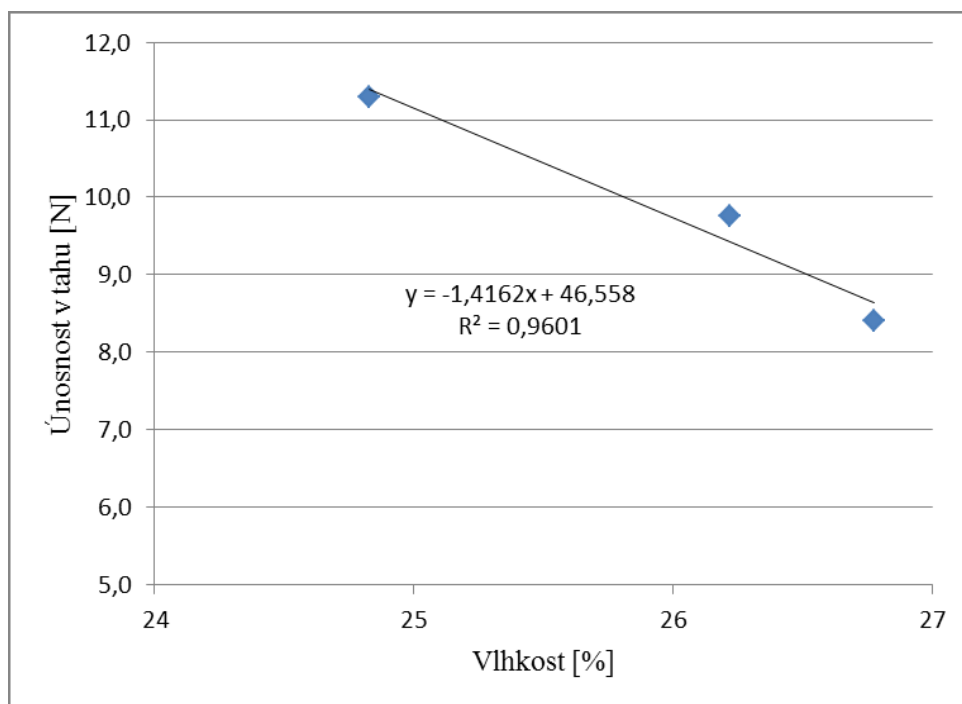


Graf 3.5 – Závislost únosnosti v tahu na době odležení (zdroj: vlastní zpracování)

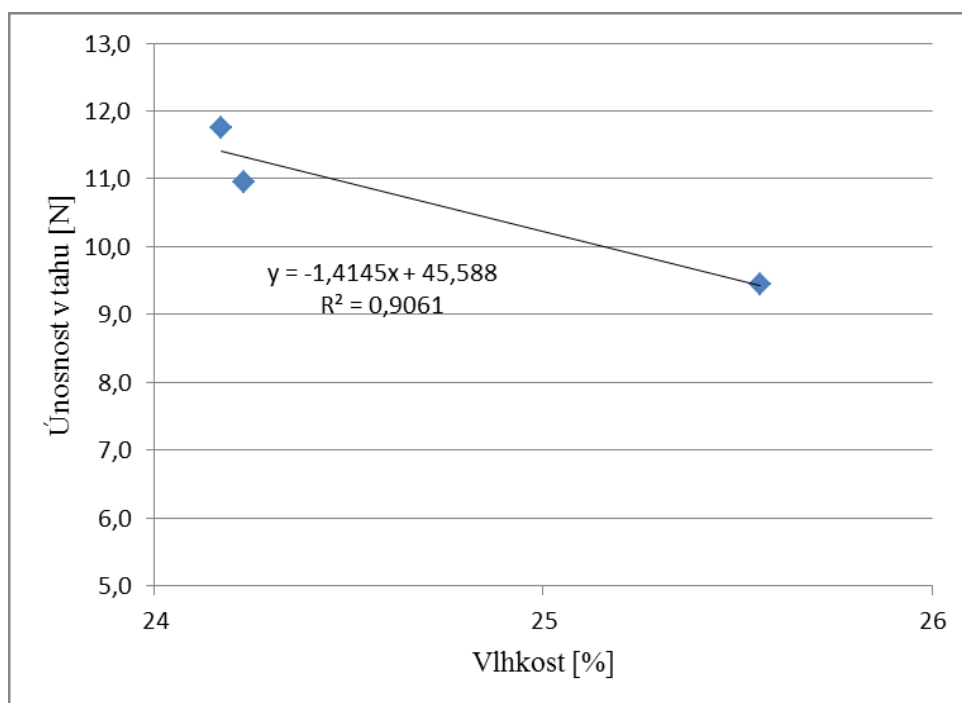
Jak je možné vidět na sloupcovém grafu, únosnost v tahu byla u proteplených těst nepatrně vyšší a to ve všech časových intervalech, kdy měření probíhalo. Z důvodu kolísajících hodnot na jednotlivých osmičkách byla pro upřesnění výsledků dopočítána i směrodatná odchylka u jednotlivých naměřených hodnot.



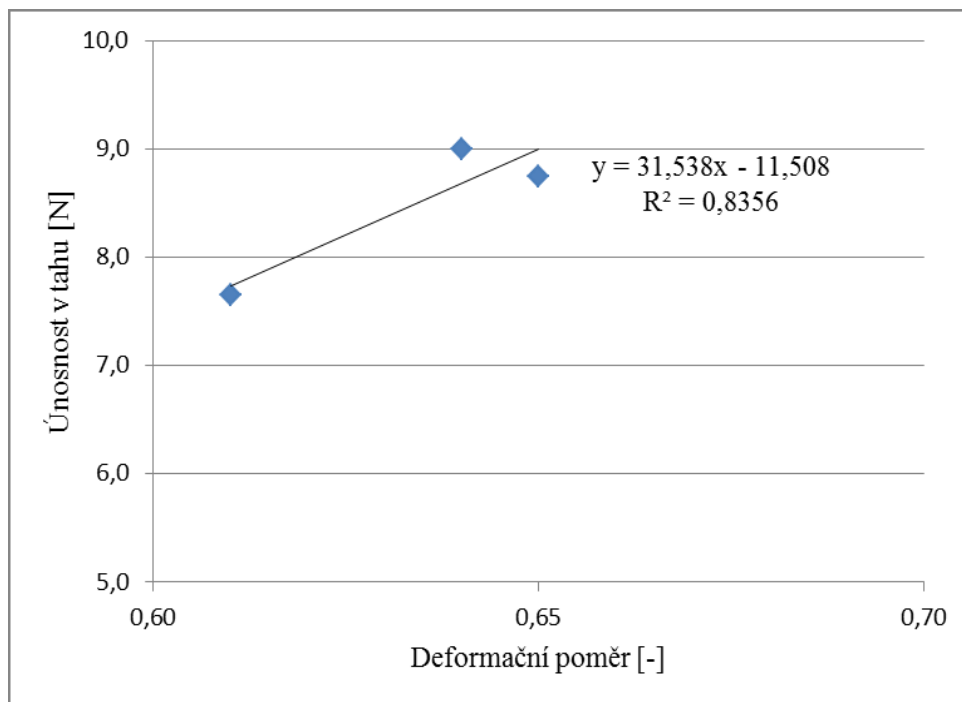
Graf 3.6 – Závislost únosnosti v tahu na vlhkosti u těsta s teplotou přidané vody 25 °C (zdroj: vlastní zpracování)



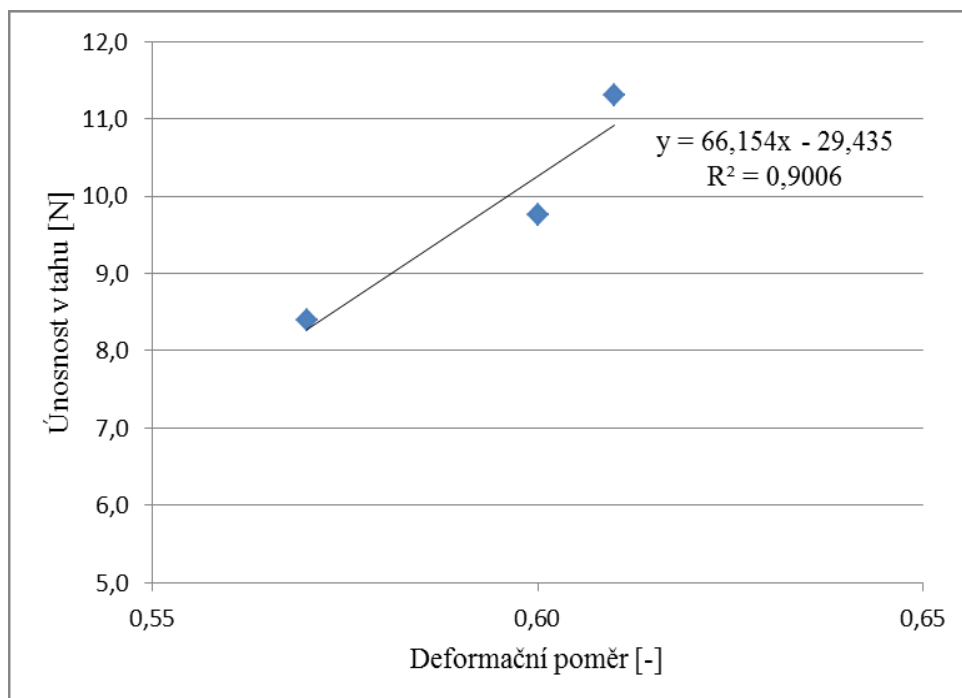
Graf 3.7 – Závislost únosnosti v tahu na vlhkosti u těsta s teplotou přidané vody 50 °C
(zdroj: vlastní zpracování)



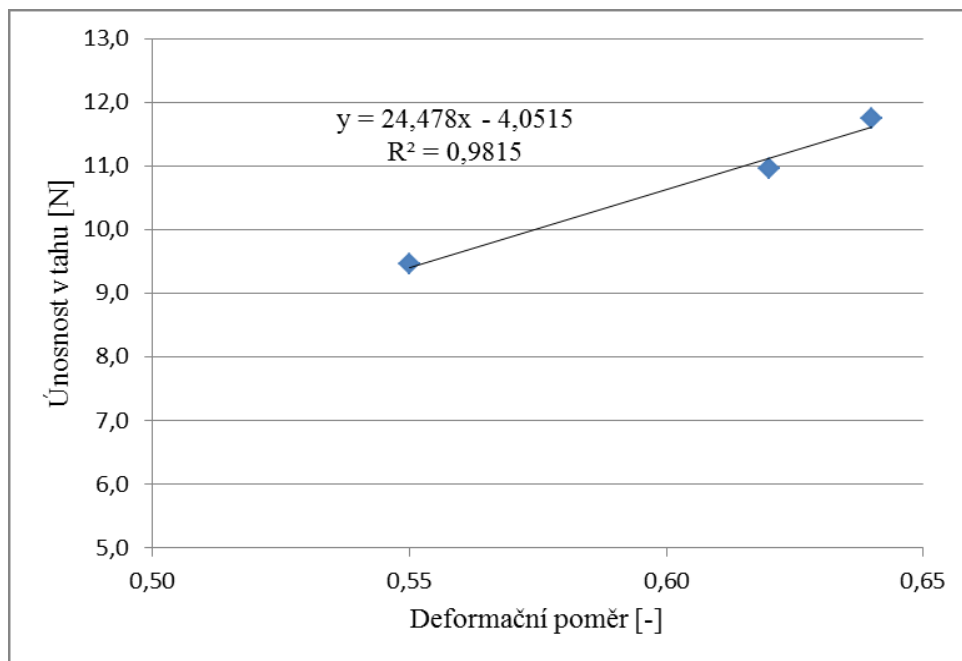
Graf 3.8 – Závislost únosnosti v tahu na vlhkosti u těsta s teplotou přidané vody 60 °C
(zdroj: vlastní zpracování)



Graf 3.9 – Závislost únosnosti v tahu na deformačním poměru u těsta s teplotou přidané vody 25 °C (zdroj: vlastní zpracování)



Graf 3.10 – Závislost únosnosti v tahu na deformačním poměru u těsta s teplotou přidané vody 50 °C (zdroj: vlastní zpracování)



Graf 3.11 – Závislost únosnosti v tahu na deformačním poměru u těsta s teplotou přidané vody 60 °C (zdroj: vlastní zpracování)

Z předchozích grafů je patrné zvyšování únosnosti v tahu při klesajícím obsahu vlhkosti a rostoucím deformačním poměru.

3.2.3 Stanovení citlivosti k sušení podle Bigota

Teorie:

V důsledku odpařování vody z plastické hmoty, dochází ke smršťování zkušební vzorku. Tento proces se po určité době odpařování vody zastaví. Během smršťování plastického těsta uniká voda koloidní a voda pórová.

Postup zkoušky:

Na zkušební vzorky vytvořené z plastického těsta jsem vyznačila otisky posuvného měřidla a zvážila jsem je. Poté jsem pravidelně zaznamenávala hmotnosti a rozpětí otisků až do ustálení tohoto rozpětí. Nakonec jsem vzorky dosušila v sušárně z důvodu dosažení ustálené hmotnosti a opět jsem je zvážila a změřila. Citlivost k sušení jsem následně stanovila odečtením z grafu Bigotovy křivky, která představuje závislost vlhkosti výlisku na jeho smrštění.

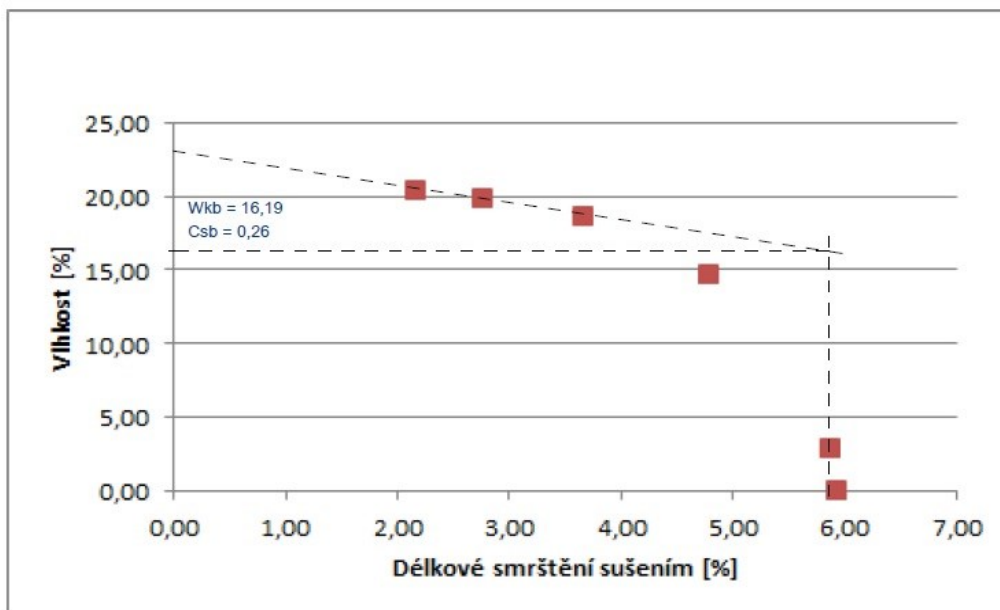
Výpočet koeficientu citlivosti k sušení dle Bigota:

$$CSB = \frac{W_a - W_{kb}}{W_{kb}}$$

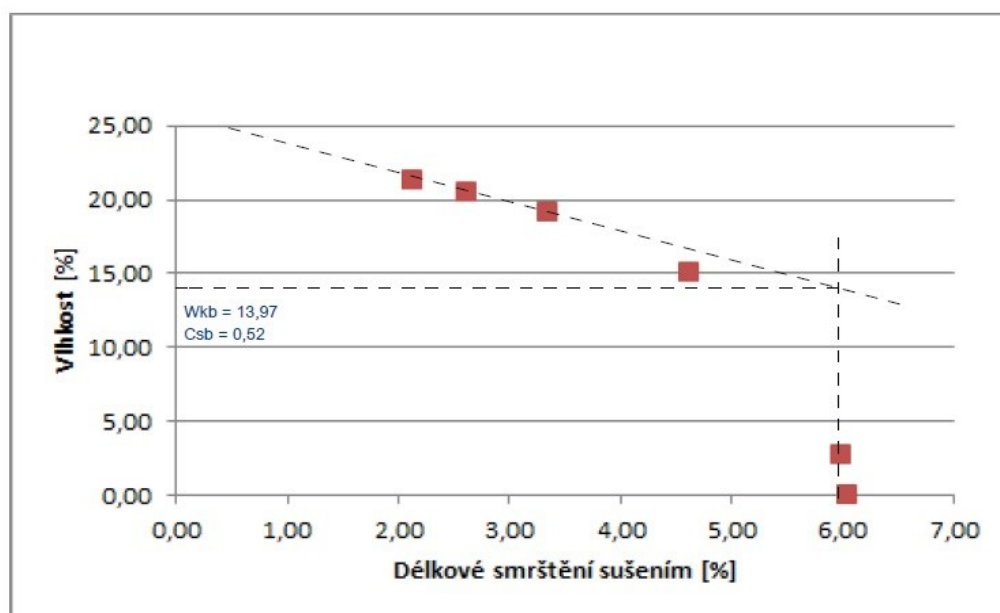
W_a - vlhkost zkušebního vzorku na počátku měření [%]

W_{kb} - vlhkost kritického bodu [%]

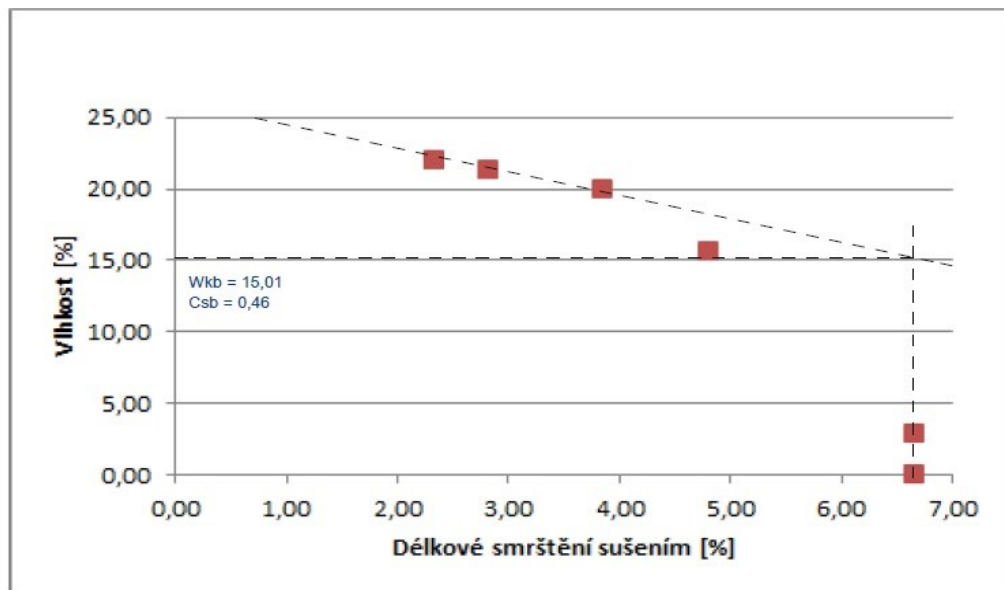
CSB - citlivost k sušení dle Bigota



Graf 3.12 – Bigotova křivka pro těsto s teplotou vody 25 °C (zdroj: vlastní zpracování)



Graf 3.13 – Bigotova křivka pro těsto s teplotou vody 50 °C (zdroj: vlastní zpracování)



Graf 3.14 – Bigotova křivka pro těsto s teplotou vody 60 °C (zdroj: vlastní zpracování)

Dle výsledné hodnoty CSB je možné zeminu zatřídit do některé z uvedených kategorií:

- CSB < 1 zeminu málo citlivé k sušení
- CSB 1-1,5 zeminu středně citlivé k sušení
- CSB 1,5-2 zeminu citlivé k sušení
- CSB > 2 zeminu silně citlivé k sušení

Dle kritické vlhkosti a koeficientu citlivosti k sušení se jedná o zeminu s malou citlivostí k sušení.

3.2.4 Délkové změny sušením a pálením

Teorie:

Ve fázi výpalu a zejména sušení zkušebních vzorků dochází k určitému smrštění cihlářského střepu, které je způsobeno odpařováním nadbytečné vody a přibližováním jednotlivých částic v mikrostruktuře střepu.

Velikost smrštění je možné stanovit výpočtem dle normy ČSN 72 1073.

Postup zkoušky:

Po vytvarování zkušební vzorku jsem si zapsala jeho původní rozměr, který jsem přeměřovala po vysušení a také po výpalu keramického střepu.

Výpočet délkové změny sušením, výpalem a celkové:

$$DS = \frac{l_s - l_z}{l_z} * 100 [\%]$$

l_s ... vzdálenost rysek po vysušení [mm]

l_z ... vzdálenost rysek po odlisování [mm]

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

l_p ... vzdálenost rysek po výpalu [mm]

$$Dc = Dp + Ds [\%]$$

Dc ... celkové smrštění [%]

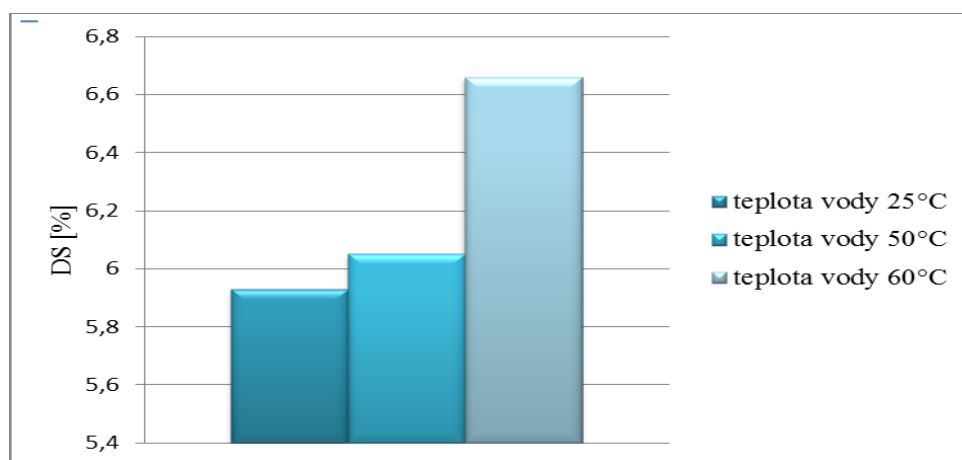
Dp ... smrštění pálením [%]

Ds ... smrštění sušením [%]

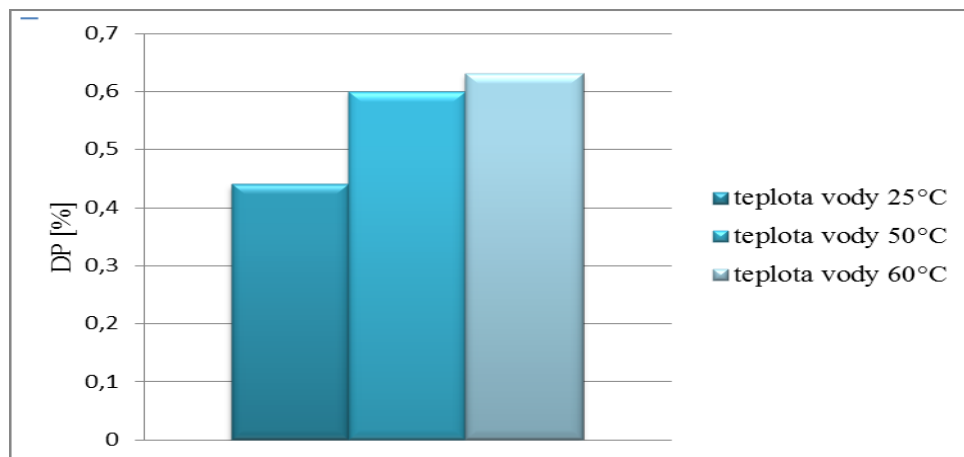
Tab. 3.5 – Naměřené hodnoty a výpočet délkových změn

Vzorek	l_z [mm]	l_s [mm]	l_p [mm]	DS [%]	Ø DS [%]	DP [%]	Ø DP [%]	DC [%]	Ø DC [%]
T1A	80,00	75,70	-	-5,38	-5,93	-	-0,44	-	-6,85
T1B	80,00	75,56	-	-5,55		-		-	
T1C	80,00	75,03	74,81	-6,21		-0,29		-6,51	
T1D	80,00	74,72	74,28	-6,60		-0,59		-7,19	
T2A	80,00	75,07	-	-6,16	-6,05	-	-0,60	-	-6,29
T2B	80,00	74,68	-	-6,65		-		-	
T2C	80,00	74,81	74,49	-6,49		-0,43		-6,92	
T2D	80,00	76,08	74,51	-4,90		-0,76		-5,66	
T3A	80,00	75,09	-	-6,14	-6,66	-	-0,63	-	-7,17
T3B	80,00	74,08	-	-7,40		-		-	
T3C	80,00	74,93	74,57	-6,34		-0,48		-6,82	
T3D	80,00	74,60	74,02	-6,75		-0,78		-7,53	

Zdroj: vlastní zpracování



Graf 3.15 – Délková změna sušením (zdroj: vlastní zpracování)

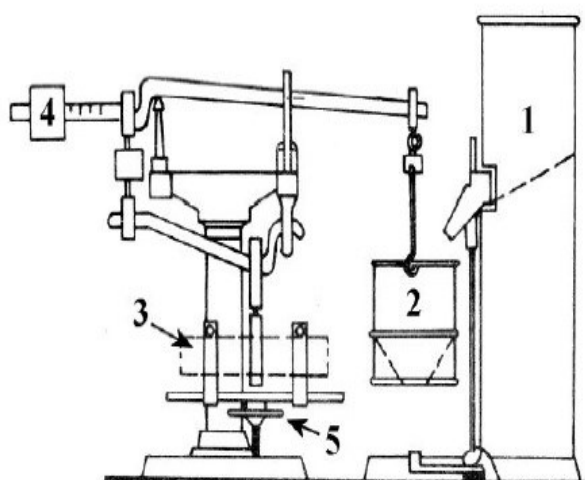


Graf 3.16 – Délková změna pálením (zdroj: vlastní zpracování)

3.2.5 Pevnost výsušku a vypáleného střeptu v tahu za ohybu

Teorie:

Pevnost v tahu za ohybu se stanovuje na Michaelisově přístroji s podpěrami, které jsou v rozpětí 80 mm. Zkušební vzorek je zatěžován postupně narůstající silou až do jeho porušení.



Legenda

- 1 zásobník s broky
- 2 miska na zachycení broků
- 3 zkušební vzorek
- 4 závaží
- 5 šroub pro upínání vzorku

Obr. 3.4 – Schéma Michaelisova přístroje

Postup zkoušky:

Zkušební vzorek jsem si nejdříve změřila a nastavila do zkušebního přístroje tak, aby byl řádně podepřen. Poté jsem ho postupně a plynule zatěžovala až do dosažení jeho destrukce.

Výpočet pevnosti v tahu za ohybu:

$$\sigma_{po} = \frac{3*F*l}{2*b*h^2}$$

σ_{po} – pevnost v tahu za ohybu [MPa]

F – zatěžovací síla [N]

l – vzdálenost podpor [mm]

b – šířka průřezu [mm]

h – výška průřezu [mm]

Tab. 3.6 – Naměřené hodnoty zatěžovací síly a výpočet pevností výsušků

Vzorek	b [mm]	h [mm]	m [kg]	mm [kg]	F [N]	σ [MPa]	$\bar{\sigma}$ [MPa]
T1A	47,47	19,33	1,38	0,385	488,05	3,30	3,63
T1B	47,78	19,61	1,62	0,385	605,77	3,96	
T2A	47,53	19,35	1,74	0,385	664,63	4,48	4,12
T2B	47,56	19,78	1,57	0,385	581,24	3,75	
T3A	47,50	19,69	1,95	0,385	767,63	5,00	5,04
T3B	47,46	19,97	2,02	0,385	801,97	5,08	

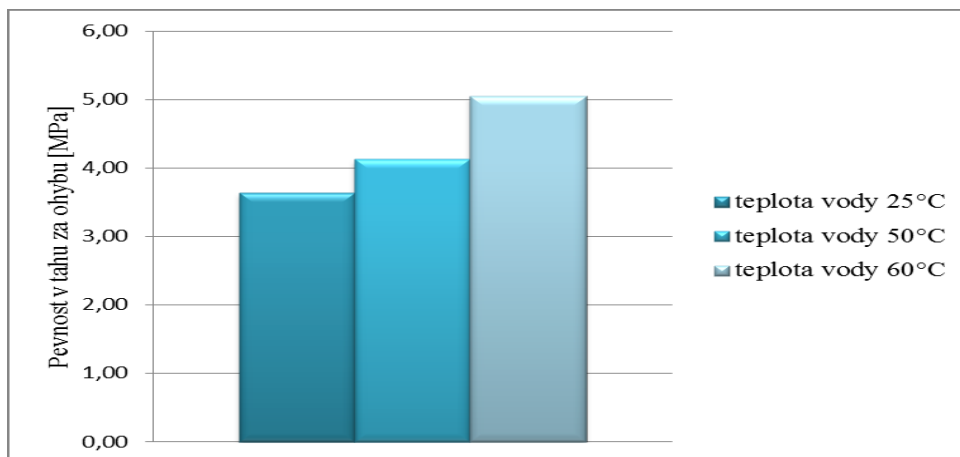
Zdroj: vlastní zpracování

Tab. 3.7 – Naměřené hodnoty zatěžovací síly a výpočet pevností vypálených střepů

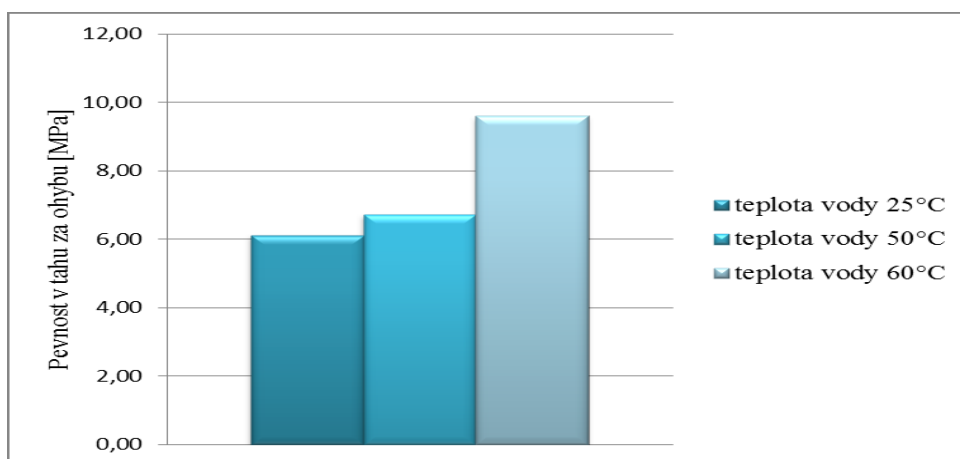
Vzorek	b [mm]	h [mm]	m [kg]	mm [kg]	F [N]	σ [MPa]	$\bar{\sigma}$ [MPa]
T1C	46,43	17,99	1,88	0,385	733,30	5,86	6,12
T1D	47,11	17,84	2,01	0,385	797,06	6,38	
T2C	46,98	17,98	2,05	0,385	816,68	6,45	6,72
T2D	46,84	18,12	2,21	0,385	895,16	6,98	
T3C	47,01	17,48	2,57	0,385	1071,74	8,95	9,60
T3D	47,03	17,93	2,63	0,385	1290,02	10,24	

Zdroj: vlastní zpracování

Zkouška pevnosti v tahu za ohybu potvrzuje příznivý vliv zvýšené teploty vody. Jak je vidět na následujících grafech, pevnost se zvyšovala jak u výsušků, tak i u vypálených střepů.



Graf 3.17 – Závislost pevnosti výsušku v ohybu na teplotě přidané vody
(zdroj: vlastní zpracování)



Graf 3.18 – Závislost pevnosti vypáleného střepe v ohybu na teplotě přidané vody
(zdroj: vlastní zpracování)

3.2.6 Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Teorie:

„Součinitel tepelné vodivosti λ je schopnost stejnorodého, isotropního materiálu při dané střední teplotě vést teplo.“ [19]

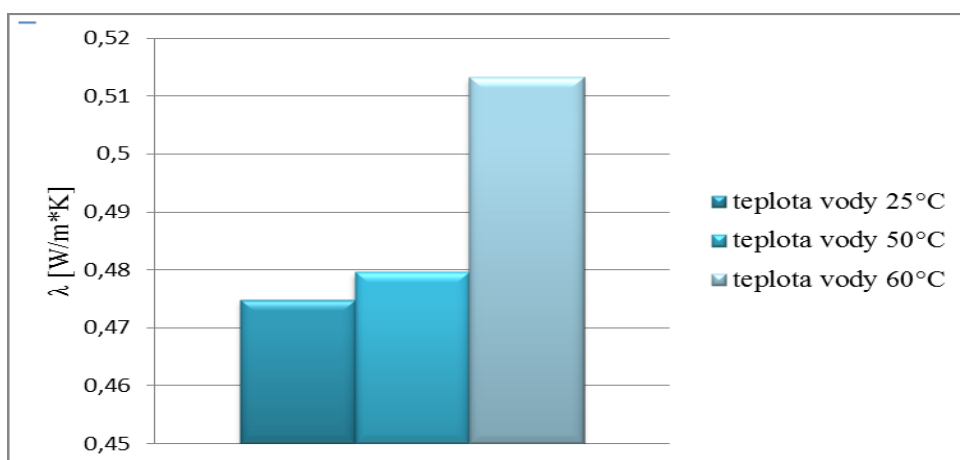
Postup zkoušky:

Součinitel tepelné vodivosti na vypálených zkušebních vzorcích byl stanoven nestacionární metodou. Jednalo se o metodu tepelných impulsů, při které je přikládána zkušební sonda na zabroušený povrch materiálu a následně je přístrojem zobrazena přímo naměřená hodnota součinitele tepelné vodivosti.

Tab. 3.8 – Naměřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti

Vzorek	λ_1 [W/m·K]	λ_2 [W/m·K]	λ_3 [W/m·K]	$\bar{\lambda}$ [W/m·K]	λ [W/m·K]
T1C	0,4708	0,4719	0,4721	0,4716	0,4748
T1D	0,4826	0,4738	0,4777	0,4780	
T2C	0,5309	0,5300	0,5351	0,5320	0,4796
T2D	0,4295	0,4247	-	0,4271	
T3C	0,5842	0,5722	0,5721	0,5762	0,5132
T3D	0,4477	0,4541	0,4487	0,4502	

Zdroj: vlastní zpracování



Graf 3.19 – Závislost součinitele tepelné vodivosti vypálených střepeů na teplotě vody
(zdroj: vlastní zpracování)

Nestacionární metodou byly naměřeny hodnoty součinitele tepelné vodivosti, které se lišili pouze nepatrnými rozdíly. Dalo by se však říci, že s rostoucí teplotou přidané vody roste i tepelná vodivost materiálu.

3.2.7 Stanovení zdánlivé pórovitosti

Teorie:

Pórovitost představuje detailní ukazatel pórovitosti mikrostruktury.

Postup zkoušky:

Pórovitost jsem stanovila pomocí exsikátoru a hydrostatického vážení zkušebních vzorků. Nejdříve jsem si zvážila suchý vzorek, poté nasáklý vzorek pod vodou a nakonec nasáklý vzorek osušený tkaninou.

Výpočet zdánlivé pórovitosti:

$$PZ = \frac{mn - ms}{mn - mnv} \times 100$$

m_n ... hmotnost nasáklého vzorku [g]

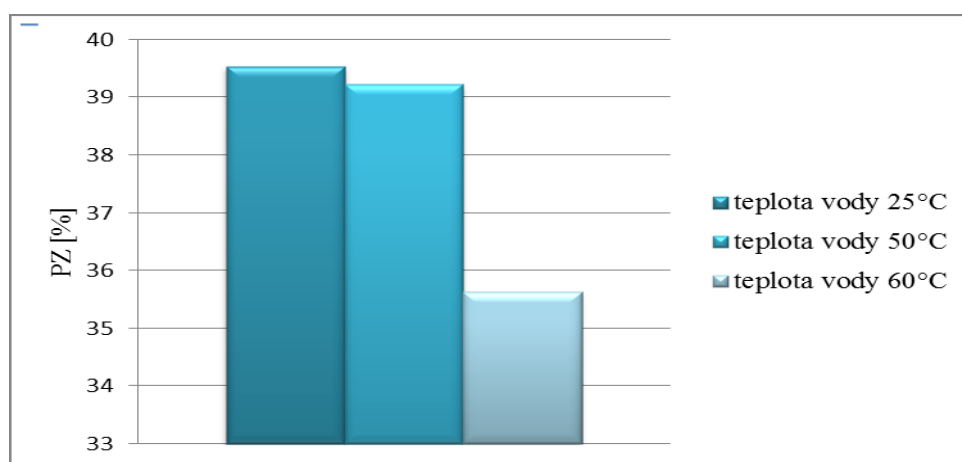
m_s ... hmotnost suchého vzorku [g]

m_{nv} ... hmotnost nasáklého vzorku pod vodou [g]

Tab. 3.9 – Naměřené hodnoty hydrostatického vážení

Vzorek	m_s [g]	m_n [g]	m_{nv} [g]	PZ [%]	Ø PZ [%]
T1C	68,45	82,96	46,59	39,90	39,54
T1D	69,27	83,62	46,99	39,18	
T2C	65,82	80,13	43,61	39,18	39,22
T2D	65,94	79,72	44,62	39,26	
T3C	70,03	83,98	46,42	37,14	35,64
T3D	69,81	82,16	45,98	34,13	

Zdroj: vlastní zpracování



Graf 3.20 – Závislost zdánlivé pórovitosti vypálených střepů na teplotě vody
(zdroj: vlastní zpracování)

Hydrostatickým vážením byla zjištěna zdánlivá pórovitost, která se s rostoucí teplotou vody postupně snižovala.

4. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo prověřit efektivnost přidání teplé rozdělvací vody do plastického těsta a dosáhnout tak zkrácení doby odležení.

Na začátku práce jsem popsala historii výroby cihlářských střepů, jednotlivé fáze výroby a předpoklady procesu odležení. Dále jsem shrnula veškeré doposud publikované výsledky možností urychlení odležení, které byly prováděny proteplováním těsta, propařováním plastického těsta a přidáním sulfitového výluhu. Na závěr teoretické části jsem popsala metodiku zkoušky stanovení odleživosti cihlářských těst dle příslušné normy.

V praktické části jsem se věnovala ověření zmíněné možnosti urychlení odležení cihlářských výrobních směsí proteplováním plastického těsta. Pro experiment jsem použila jeden druh zeminy a vytvořila jsem z něj 3 plastická těsta s různou teplotou rozdělvací vody (25 °C, 50 °C, 60 °C). Následně jsem sledovala vliv teploty rozdělvací vody na vlastnosti plastického těsta a vypáleného střepu.

V průběhu zkoušení únosnosti v tahu u plastických těst se nepatrně snižovala vlhkost, ale změna vlhkosti je v mezích stanovených normou. Deformační poměr všech třech plastických těst se naopak mírně zvyšoval. Zaznamenané hodnoty únosnosti v tahu v závislosti na době odležení však potvrzují pozitivní vliv proteplování těsta. Stanovením citlivosti k sušení dle Bigota jsem zařadila použitou surovinu do kategorie zemin s malou citlivostí k sušení. Délkové změny sušením se s vyšší teplotou vody zvyšovaly a délkové změny pálením také. Příznivé účinky proteplování těsta byly potvrzeny zejména u pevností na vysušených i vypálených vzorcích. Bylo dosaženo zvýšení pevností z 3,6 MPa u neproteplovaneého těsta na cca 5 MPa s použitím vody o teplotě 60 °C v případě výsušku. U vypáleného střepu došlo k vzestupu pevnosti z 6,1 MPa na 9,6 MPa. Dále byl stanoven součinitel tepelné vodivosti, který se s rostoucí teplotou vody nepatrně zvyšoval. Rozdíly však byly minimální, proto nemusí být přisuzovány právě vlivu proteplování. Poslední prováděnou zkouškou bylo stanovení zdánlivé pórovitosti pomocí exsikátoru a zde bylo zřejmé, že pórovitost s rostoucí teplotou vody naopak klesala.

Výstupem této bakalářské práce je prokázání pozitivních účinků proteplování plastického těsta na dobu odležení i na finální vlastnosti cihlářských prvků. Přičemž navržená optimální teplota rozdělvací vody se pohybuje v rozmezí 50 – 60 °C.

5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJE

Literární zdroje:

- [1] SOKOLÁŘ, R. *Keramika. Modul BJ01-M01*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006. 176 s.
- [2] HANYKÝŘ, V., KUTZENDÖRFER, J. *Technologie karamiky*. 1. vyd. Praha: Vega, s.r.o., 2008. 387 s. ISBN 978-80-86821-48-1.
- [3] PYTLÍK, P., SOKOLÁŘ, R. *Stavební keramika. Technologie, vlastnosti a využití*, Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 287 s. ISBN 80-7204-234-3.
- [4] VALENTA, L. *Keramická příručka*. 2. vyd. Praha: Silikátový svaz, 2007. 417 s. ISBN 978-80-86821-46-7
- [5] PYTLÍK, P. *Cihlářství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1995. 264 s. ISBN 80-214-0612-7.

Odborné časopisy:

- [6] MATĚJKA, J., KRAJČI, Š.: *Vliv přísady sulfitových výluhů na vlastnosti cihlářských těst*. Stavivo 7 (34) 1956, roč. 34

Internetové zdroje:

- [10] Keramika, [online]. [cit.15.1.2016, 18:50 hod.].
Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/keramika.html#cihvyr>
- [11] Keramické materiály, [online]. [cit. 23.1.2016, 16:20 hod.].
Dostupné z: <http://issfamily.cz/PH/pdf/zed1-m02.pdf>
- [12] Výroba keramiky, [online]. [cit.27.1.2016, 13:15 hod.].
Dostupné z:
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Ace99X0i2UMJ:www.cscm.cz/napsali/uprava-surovin.pdf+&cd=4&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>
- [13] časopis stavebnictví, [online]. [cit.27.1.2016, 13:30 hod.].
Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/tisk.php?ID=4000>
- [14] sciencedirect – vědecká databáze, [online]. [cit.13.2.2016, 14:30 hod.].
Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016913171100264X>
- [15] sciencedirect – vědecká databáze, [online]. [cit.13.2.2016, 14:45 hod.].
Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131708001488?np=y>

- [16] Tondach, [online]. [cit.14.3.2016, 17:50 hod.].
Dostupné z: <http://www.tondach.cz/cihly/cihly-brousene>
- [17] Wienerberger, [online]. [cit.14.3.2016, 18:15 hod.].
Dostupné z: www.wienerberger.cz
- [18] wasteforum – recenzovaný časopis, [online]. [cit.14.3.2016, 18:45 hod.].
Dostupné z: http://www.wasteforum.cz/cisla/WF_4_2011.pdf
- [19] TZB-info.cz , [online]. [cit.14.3.2016, 18:20 hod.].
Dostupné z: www.stavba.tzb-info.cz
- [20] Heluz, [online]. [cit.14.3.2016, 18:30 hod.].
Dostupné z: www.heluz.cz

Normy:

- [22] ČSN 72 1564 – Cihlářské ustanovení
- [23] ČSN 72 1565 – Zkoušení cihlářských Zemin – Stanovení vlhkosti
- [24] ČSN 72 1074 – Stanovení optimální a pracovní vlhkosti keramických test Pfefferkornovým přístrojem
- [25] ČSN 72 1565 – 4 – Zkoušení cihlářských zemin – vytváření, sušení, výpal
- [26] ČSN 72 1565 – 9 – Zkoušení cihlářských zemin – stanovení odleživosti plastických těst

6. SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Seznam tabulek:

Tabulka č. 2.1 - Technologické vlastnosti po odležení v laboratoři

Tabulka č. 2.2 - Technologické vlastnosti po venkovním odležení

Tabulka č. 2.3 - Technologické vlastnosti po sterilizaci a odležení

Tabulka č. 3.1 - Receptury připravených těst

Tabulka č. 3.2 - Naměřené hodnoty plastického těsta

Tabulka č. 3.3 - Výpočet optimální vlhkosti u jednotlivých plastických těst

Tabulka č. 3.4 - Naměřené hodnoty únosnosti v tahu na zkušebních osmičkách

Tabulka č. 3.5 - Naměřené hodnoty a výpočet délkových změn

Tabulka č. 3.6 - Naměřené hodnoty zatěžovací síly a výpočet pevností výsušků

Tabulka č. 3.7 - Naměřené hodnoty zatěžovací síly a výpočet pevností vypálených střepů

Tabulka č. 3.8 - Naměřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti

Tabulka č. 3.9 - Naměřené hodnoty hydrostatického vážení

Seznam obrázků:

Obrázek č. 2.1 - cihla děrovaná

Obrázek č. 2.2 – cihla věncová

Obrázek č. 2.3 - Miako vložka Porotherm

Obrázek č. 2.4 - Hurdiska s kolmými čely a se šikmými čely

Obrázek č. 2.5 - Základní typy pálené střešní krytiny

Obrázek č. 2.6 - Klasifikační diagram cihlářských jíílů a hlín podle Winklera

Obrázek č. 2.7 - Obecné technologické schéma cihlářské výroby

Obrázek č. 2.8 - Haldování suroviny

Obrázek č. 2.9 - Odležovací věž plněná elevátorem a vyprazdňovaná spodem středem

Obrázek č. 2.10 - Boxové odležárny v Cihelně Hevlín s celkovou kapacitou až 6000 m³

Obrázek č. 2.11 - Osmička dle Matějky

Obrázek č. 3.1 - Osmička z plastického těsta

Obrázek č. 3.2 - Vzorky vytvořené z plastického těsta

Obrázek č. 3.3 - Schéma Pfefferkornova přístroje

Obrázek č. 3.4 - Schéma Michaelisova přístroje

Seznam grafů:

Graf č. 3.1 - Znázornění optimální vlhkosti jednotlivých těst

Graf č. 3.2 - Znázornění závislosti vlhkosti na deformačního poměru u těsta s teplotou vody 25°C

Graf č. 3.3 - Znázornění závislosti vlhkosti na deformačního poměru u těsta s teplotou vody 50°C

Graf č. 3.4 - Znázornění závislosti vlhkosti na deformačního poměru u těsta s teplotou vody 60°C

Graf č. 3.5 - Závislost únosnosti v tahu na době odležení

Graf č. 3.6 - Závislost únosnosti v tahu na vlhkosti u těsta s teplotou přidané vody 25° C

Graf č. 3.7 - Závislost únosnosti v tahu na vlhkosti u těsta s teplotou přidané vody 50° C

Graf č. 3.8 - Závislost únosnosti v tahu na vlhkosti u těsta s teplotou přidané vody 60° C

Graf č. 3.9 - Závislost únosnosti v tahu na deformačním poměru u těsta s teplotou přidané vody 25° C

Graf č. 3.10 - Závislost únosnosti v tahu na deformačním poměru u těsta s teplotou přidané vody 50° C

Graf č. 3.11 - Závislost únosnosti v tahu na deformačním poměru u těsta s teplotou přidané vody 60° C

Graf č. 3.12 - Bigotova křivka pro těsto s teplotou vody 25° C

Graf č. 3.13 - Bigotova křivka pro těsto s teplotou vody 50° C

Graf č. 3.14 - Bigotova křivka pro těsto s teplotou vody 60° C

Graf č. 3.15 - Délková změna sušením

Graf č. 3.16 - Délková změna pálením

Graf č. 3.17 - Závislost pevnosti výsušku v ohybu na teplotě přidané vody

Graf č. 3.18 - Závislost pevnosti vypáleného střepu v ohybu na teplotě přidané vody

Graf č. 3.19 - Závislost součinitele tepelné vodivosti vypálených střepů na teplotě vody

Graf č. 3.20 - Závislost zdánlivé pórovitosti vypálených střepů na teplotě vody