



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra technologie staveb

Vývoj vaznosti nepálené hlíny v čase

Research binding capacity of unburnt clay in time

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Kateřina Nováková

Magisterský studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Příprava a realizace staveb

Školitel: Ing. Michal Procházka

Praha, 2017



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Nováková	Jméno: Kateřina	Osobní číslo: 396515
Zadávací katedra: Katedra technologie staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vývoj vaznosti nepálené hlíny v čase	
Název diplomové práce anglicky: Research binding capacity of unburnt clay in time	
Pokyny pro vypracování: Literární rešerše. Popis eperimentu a výběr vzorků.. Příprava vzorků. Testování vzorků. Zpracování výsledků..	
Seznam doporučené literatury: Havlíček Vlastimil Souček Kare. Stavby z nepálené hlíny, Státní zemědělské nakladatelství, Praha 1958 Chybík Josef. Přírodní stavební materiály, Granada Publishing, 2009 Suske, Petr. Hlinené domy novej generácie, Alfa, 1991 Gernot Minke. Building With Earth, Birkhäuser, 2006	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michal Procházka, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 3.10.2016	Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou prací vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze 2017

.....
Kateřina Nováková

Poděkování:

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Michalu Procházkovi za odborné vedení mé diplomové práce, za trpělivost, zodpovězení všech mých dotazů a pozitivní přístup. Dále bych chtěla poděkovat panu MSc. Estebanu Rodríguezovi Galindovi za poskytnuté informace a zapůjčení literatury a poskytnutí pomocné ruky v Mexiku.

Anotace:

Hliněné materiály jsou v současné době jedním z nejrozšířenějších stavebních materiálů na světě. Existuje nespočet výrobků z pálené i nepálené hlíny, které se používají již stovky let. Tato diplomová práce se zabývá vývojem vaznosti nepálené hlíny v čase.

Klíčová slova:

jíl, hlína, hliněné omítky, vaznost

Annotation:

Clay materials are currently one of the most widely used building materials in the world. There are countless products from burn and unburn clay which have been used for hundreds years. This thesis deals with the development of the binding capacity of unburn clay in time.

Keywords:

clay, earth, clay plasters, binding

Obsah

1. Úvod	9
2. Teoretická část	11
2.1. Historie hliněných staveb	11
2.2. Suroviny pro výrobu hliněných stavebních materiálů.....	13
2.2.1. Pojiva.....	14
2.2.2. Plniva.....	15
2.2.3. Anorganické materiály	15
2.2.4. Organické příměsi.....	16
2.3. Vlastnosti hliněných stavebních materiálů	17
2.3.1 Mechanické vlastnosti	19
2.3.2. Fyzikální vlastnosti.....	19
2.4. Technologie zpracování hliněných stavebních materiálů.....	20
2.4.1. Tradiční způsob zpracování.....	20
2.4.2. Dnešní způsob zpracování.....	21
2.5. Postupy výroby zdiva z hlíny.....	21
2.6. Hliněné omítky.....	25
2.6.1. Vnější omítky.....	26
2.6.2. Vnitřní omítky.....	27
2.7. Další využití hlíny ve stavebnictví.....	27
3. Experimentální část	30
3.1. Hypotéza.....	30
3.2. Cíle	30
3.3. Zkoušky	30
3.3.1. Plastičnost	31
3.3.1.1. Zkouška plastičnosti.....	31
3.3.2. Vaznost	31

3.3.2.1.	Zkouška vaznosti	31
3.3.3.	Smrštění	34
3.3.3.1.	Zkouška smrštění	34
3.3.4.	Odolnost proti působení vody	34
3.3.4.1	Zkouška odolnosti proti působení vody.....	35
3.3.5.	Zrnitost.....	35
3.4.	Experimentální vývoj	35
3.4.1.	Upravená metodika měření vaznosti v čase	35
3.4.2.	Výběr zkušebních vzorků.....	36
3.4.3.	Postup přípravy vzorků	37
3.4.4.	Postup zkoušek.....	38
3.4.5.	Postup vyhodnocení	38
4.	Výsledky výzkumu a vývoje vaznosti.....	39
4.1.	I. nekomerční vzorek.....	39
4.1.1.	Zkouška plastičnosti.....	39
4.1.2.	Zkouška vaznosti.....	39
4.1.3.	Výsledky zkoušky vaznosti	40
4.1.4.	Vyhodnocení.....	42
4.1.5.	Výsledky experimentu.....	42
4.2.	II. Komerční vzorek	43
4.2.1.	Zkouška plastičnosti.....	44
4.2.2.	Zkouška vaznosti.....	44
4.2.3.	Výsledky zkoušky vaznosti	45
4.2.4.	Vyhodnocení.....	47
4.2.5.	Výsledky experimentu.....	48
4.3.	III. Komerční vzorek	48
4.3.1.	Zkouška plastičnosti.....	49
4.3.2.	Zkouška vaznosti.....	49

4.3.3.	Výsledky zkoušky vaznosti	50
4.3.4.	Vyhodnocení.....	52
4.3.5.	Výsledky experimentu.....	53
4.4.	Zhodnocení	53
5.	Verifikace výsledků v Mexiku (nad rámec původního zadání)	55
5.1.	Určení zkušebních vzorků	55
5.2.	Výsledky výzkumu a vývoje vaznosti na vzorcích z Mexika.....	55
5.2.1.	Nekomerční vzorek	56
5.2.2.	II. Komerční vzorek	60
5.2.3.	III. Komerční vzorek.....	64
5.2.4.	Výsledky experimentu.....	68
5.2.5.	Zhodnocení	68
6.	Doporučení pro další postup.....	70
7.	Závěr.....	71
8.	Použitá literatura	72
8.1.	Publikace	72
8.2.	Jiné zdroje.....	72
9.	Seznam obrázků	73
10.	Seznam tabulek.....	74
11.	Seznam grafů.....	75
12.	Přílohy.....	76

1. Úvod

Přírodní materiály zažívají v několika posledních letech rychle stoupající popularitu. Jednou z příčin je rostoucí zájem o ochranu přírody. Jedním z přírodních materiálů, který se za poslední pár let vrací do povědomí, je hlína. Hliněné stavby jsou známy stovky let, byly používány pro svou snadnou dostupnost, zpracovatelnost a rychlost výstavby. Do popředí se dostává díky svým pozitivním vlastnostem jako recyklovatelnost a dostupnost, kdy při použití lokální hlíny odpadají nákladné výdaje na dopravu. Dalšími vlastnostmi, díky kterým zažívá hlína návrat, je její schopnost regulace vlhkosti v místnosti, pohlcení nadměrné vlhkosti a konzervace dřevěných konstrukcí. Díky svému přírodnímu původu je vhodná i pro alergiky.

V současné době je možné se setkat s hliněnými stavbami téměř po celém světě. Celohliněné stavby jsou k vidění například v Latinské Americe, kde je používán po stovky let stejný způsob výstavby. Jak využít hlínu ve stavebnictví můžeme obdivovat již po staletí, příkladem jsou například rozsáhlé hliněné pyramidy a bydliště Aztéků v Peru. V Peru i v dalších státech se však výstavba hliněných domků a obecně použití hlíny ve stavebnictví nezastavila. Hlína je i v dnešní době velmi využívaným materiálem. Příkladem jsou vesnice na ostrovech jezera Titicaca, kde po celé věky místní stavějí domky z hliněných nepálených cihel do jednoho měsíce.

Hlínu lze ve stavebnictví použít pálenou i nepálenou. Z výrobků z pálené hlíny jsou nejrozšířenější pálené cihly, které kromě již zmíněných vlastností i dobře izolují zvuk. Z nepálených výrobků jsou nejpopulárnější nepálené cihly, které jsou známy již stovky let. Lze je vyrábět jak strojně, tak i ručně svépomocí třeba doma na zahradě. Hlína se ovšem nepoužívá jen jako cihly, ale známé jsou také hliněné podlahy, omazávky a v neposlední řadě stále populárnější hliněné omítky.

Pro zjištění, zda je hlína vhodná pro danou stavbu, se provádí nesčetně testů. Tato diplomová práce umožňuje nahlédnout do procesu významných testů pro nepálenou hlínu. Testy se zpravidla provádějí na hliněných směsích, které sestávají ze samotné hlíny ve směsi s vodou a pro vylepšení vlastností se přidávají přísady a příměsi.

Jedním z velmi důležitých testů je test vaznosti, který nám určuje, zda je vhodné hliněnou směs využít ve stavebnictví. Otázkou je, zda se vaznost mění s časem, a pokud ano, jakým způsobem. Tato práce se na tuto otázku pokusí odpovědět. Měření vaznosti proběhne na třech vzorcích hliněné směsi. Dva ze vzorků budou z komerční sféry a

jeden nekomerční. Na základě naměřených údajů vaznost v čase, se poté určí, zda a jakým způsobem se vaznost s časem mění.

2. Teoretická část

Hlína patří mezi nejstarší stavební materiály světa. Již nejstarší literární prameny nás odkazují na to, že člověk byl odjakživa obklopen hlínou a využíval její vlastnosti v mnoha odvětvích. Tato část diplomové práce se zabývá stručnou historií hliněných staveb, historickými i současnými postupy výstavby a v neposlední řadě i složením a vlastnostmi hlíny.

2.1. Historie hliněných staveb

Hliněné stavby lze zkoumat téměř u všech národů ve všech dějinných epochách. Za zmínku však stojí, že prvními obyvateli hliněných obydlí byla zvířata. Nejde jen o vyhloubené nory, ale především o sofistikovanou výstavbu termitišť.

Člověk začal hlínu využívat k různým účelům od chvíle, kdy začal vyrábět primitivní nástroje, tedy cca 1 800 000 let před naším letopočtem. Využití našla především výroba drobných předmětů z keramiky. Okolo cca 15 000 let před naším letopočtem, kdy došlo k usídlování člověka (*Homo sapiens*), lze předpokládat první hliněné stavby.

Nejstarší doložitelné hliněné stavby lze nalézt v Egyptě, na blízkém východě či v Číně. Zbytky starověkých zachovalých hliněných staveb jsou dosud k vidění i v oblasti Středozemního moře. Dalšími místy, která stojí za zmínku, jsou pyramidy v Jižní a Střední Americe. Jednou z velmi významných staveb Střední Ameriky je mexická Sluneční pyramida v Teotihuacánu, jejíž jádro je tvořeno právě hlínou. Další významnou stavbou je pyramida Huaca Pucllana, nacházející se hlavním městě Peru v Limě, která je celá tvořena z nepálené hlíny. Velice významnou stavbou, která je z části právě z hlíny, je Velká čínská zeď a v Egyptě Zádušní chrám Ramesse II. Další jsou vysoké hliněné stavby ve městě Šibán, které se nachází v Jemenu. Největší hliněnou budovou dnešní světa je Velká mešita, nacházející se v Djenne v Mali.



OBRÁZEK 1

Ruiny starobylé pyramidy Huaca Pucllana, Lima, Peru (archiv autora)

V Evropě můžeme nalézt mnoho staletých hliněných budov především ve Francii, Německu, Itálii, Skandinávii či Polsku. Ve Francii jsou k nalezení jak obytné budovy stavěné z dusané hlíny, tak i hospodářské objekty. V Rusku je dodnes k vidění mnoho obytných domů v Moskvě postavených koncem 18. Stol. V Polsku stojí za zmínku zámek v Tarchomině u Varšavy, v posledních letech však proběhla renovace v podobě dalších pater z cihel. Nesčetně staveb z pálené i nepálené hlíny se nachází na území Německa, mnohdy ani sami obyvatelé domu nevědí, že žijí v hliněných obydlích. Příkladem je například selský dvorec v Beune či jednopatrový hliněný statek v Riesdorfu.

V České republice je historie hliněných staveb poněkud chudší než u našich sousedů. Písemné zmínky o hliněných stavbách jsou ze 14. a 15. století, kdy se stavěly menší jednoduché domky a stáje. Hliněné stavby byly u nás nejrozšířenější především v Jihomoravském kraji, na moravském Slovácku a Hané. Na Slovensku bývaly hliněné stavby běžné zejména na západě a jihu.

V minulosti byla hlína využívána po celém světě a kombinována s ostatními dostupnými materiály jako je kámen, dřevo apod. či používána jako hliněná omítka. Pro výstavbu byly používány nejrůznější postupy. Některé postupy výstavby se využívají ve stejné podobě dodnes.



OBRÁZEK 2

Sluneční pyramida v Teotihuacánu, Mexiko (archiv autora)

2.2. Suroviny pro výrobu hliněných stavebních materiálů

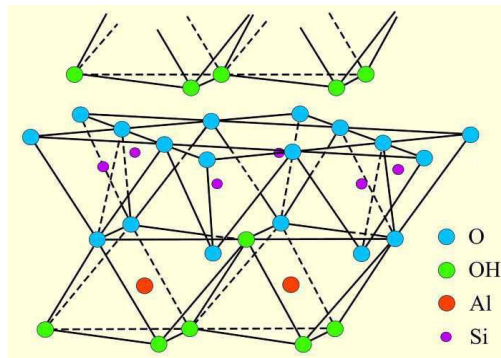
Nejdůležitějším materiálem pro stavbu hliněných budov jsou jílovité zeminy, u nás je nejrozšířenějším nalezištěm sprašových oblastí Jižní Morava. Pro kvalitní stavební prvky z hlíny je nezbytné, aby zemina obsahovala jílové minerály, právě díky nimž drží výsledný produkt vcelku a zaručují mu dostatečnou pevnost. Jsou to hydratované křemičitany s vrstevnatou strukturou. Jílové zeminy tvoří s vodou plastická, dobře zpracovatelná těsta, jež se suší a vypalují bez deformace a jsou proto základem tradičních typů keramiky.³

Pro výrobky z nepálené hlíny se v ideálním případě používá materiál vytvořený již přírodou. Směs obsahuje jíly, prach a písek. Jako ideální zdroj se používají sprašové hlíny z vykopávek základů, odpadní jíly, písky kopané v pískovnách, odpadní průmyslové a zemědělské produkty atd. Dalším postupem je, stejně jako u výroby pálených produktů, sušení surovin, drcení a mísení.

Každá hliněná směs vždy obsahuje pojivo a plnivo, dále se mohou upravovat vlastnosti směsi pomocí příměsí a přísad.

2.2.1. Pojiva

Pojivem hliněných výrobků jsou jílové minerály. Vznik jílu je zapříčiněn rozpadem živců, které jsou bohaté na oxid hlinitý a další oxidy především oxidy kovů. Rozpad je nejčastěji způsoben zvětráváním, tento proces probíhá za přispění účinku mírně kyselé vody, díky čemuž dojde k povolení vazeb živců, nejčastěji sodno-draselné či sodno-vápenaté. Výsledkem rozpadu vazeb jsou právě jíly. Dělí se dle svého složení, kaolinit ($\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$) a montmorillonit $(\text{Na},\text{Ca})_{0.33}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ se vyskytují nejčastěji. Hned za výše zmíněnými sloučeninami se v četnosti výskytu řadí illit $(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Výsledné vlastnosti hlíny se odvíjejí od poměru jílových minerálů ve směsích. Například kaolinické jíly málo bobtnají, mají ovšem nízkou schopnost pojivosti. Montmorillonity naopak bobtnají hodně, mají ale své pozitivum, kterým je vysoká schopnost pojivosti. Směsi jílových minerálů také obsahují oxidy kovů, které ovlivňují zejména jejich barevnost. Při okrovém a červeném zbarvení se nejčastěji jedná o oxid železa, hnědé zbarvení má na svědomí mangan, doběla zbarvuje vápník, šedá a modrá je díky titanu a zelená barva je při obsahu hořčíku. Dalším aspektem, kterým od sebe jílové minerály rozeznáme, jsou počty vrstevnatých mřížek tetraedrů a oktaedrů, kterými jsou minerály tvořeny. Jednotlivá souvrství tvořená dvěma až třemi vrstvami tetraedrů a oktaedrů se vlivem Van der Waalsových sil, vodíkových vazeb a vlivem výměnných kationtů přitahují. Výměna kationtů je ovlivněna přítomností krystalické a absorbované vody, stejně tak je tímto aspektem ovlivněna i soudržnost. Díky soudržnosti je zajištěna pojivá schopnost jílu po vyschnutí a zároveň její ztráta při vysoké vlhkosti. Pro dosažení dostatečné pevnosti a správnému pohybu vnitřního uskupení materiálu je zapotřebí přítomnost záměšové vody. Pohyb je třeba vyvolat hnětením či mícháním. Výsledné vlastnosti jsou ovlivněny právě množstvím přidané vody. Nedostatek neumožňuje pohyb částic a naopak nadbytek znemožňuje hutnění. Rozhodujícím aspektem je také způsob zpracování a tedy i konzistencí, kdy ke snížení potřeby vody dojde při použití vibrací, které napomáhají pohybu částic, nebo při užití plastifikátorů či tavidel, které sníží vnitřní tření. Dle pana prof. Minkeho je nejlepším způsobem zpracování ruční hnětení, kdy dochází k nejideálnější výsledné struktuře - vrstevnaté.



OBRÁZEK 3
Popis struktury kaolinitu[14]

2.2.2. Plniva

Prach, písek a případně i štěrky, to všechno jsou plniva použitelná do hliněných výrobků. Množství plniva závisí na smrštění, výsledné smrštění se nesmí snížit pod 2%. K tomuto jevu může dojít, pokud je použit jíla, který nemá dostatečné množství větších zrn, řešením je přidání ostřiva. Nejvhodnějším ostřivem je kopaný písek. Důležitým faktorem u plniva je křivka zrnitosti, která by měla plynule navazovat na frakci jílu. Důvodem, proč je vhodný právě písek, je jeho vyhovující křivka zrnitosti.

Účelem pojiva a ostřiv je vylepšení vlastností materiálu. Jejich základní rozdělení je dle původu, organického nebo anorganického. Ovlivňují vlastnosti jako je stabilita při sesychání, objemová hmotnost, tepelně mechanické vlastnosti apod.

2.2.3. Anorganické materiály

Příměsi a pojiva se přidávají za účelem vylepšení vlastností stavebního výrobku. Z anorganických materiálů to může být písek, štěrky, dále vlákna skelná, čedičová, polymerní atd. Další minerální příměsi mohou být i úlomky kamene nebo cihel většinou do velikosti 5 cm, u hliněných bloků až 1 cm. Dále prof. Minke ve své knize uvádí stabilizaci cementem, vápnem a bitumenem.



OBRÁZEK 4
Skelná vlákna[15]

2.2.4. Organické příměsi

Příměsi organického původu mají ve stavebnictví z hlíny dlouhou tradici. Mezi živočišné látky patří zvířecí exkrementy, nejčastěji kravský nebo koňský hnůj, který lze nalézt v omítkách či mazaninách. Dále se používá zvířecí krev, kasein, kliš, zvířecí srst a další. Jako dekorativní prvky živočišného původu se používají mušle a ulity, zejména v přímořských oblastech.

Do organických materiálů rostlinného původu zařadíme slaměnou řezanku, která snižuje objemovou hmotnost konstrukce, a používá se také v hrubých hliněných omítkách a cihlách. Dále mohou být použity plevy, jejichž pozitivní vlastností je vylehčení materiálu především v jemných omítkách, cihlách a kamnářské hlíně. Na hrubé i jemné omítky, izolace a armovací tkaninu lze použít len či konopí. Další příměsi jsou celulóza, oleje, pryskyřice a latex, mouka, škrob či melasa. U některých receptur však může dojít k výraznému růstu difuzního odporu, zejména u olejů, mouky a škrobu. Dalšími používanými materiály rostlinného organického původu jsou rohože z rákosu, které se ve svislých vrstvách kladou pod omítku, při výrobě armatur a monolitických hliněných stěn slouží ke stejnému účelu proutí.



OBRÁZEK 5
Slaměná řezanka[12]

2.3. Vlastnosti hliněných stavebních materiálů

Základními vlastnostmi materiálů je ekonomické, ekologické, pocitové hledisko a základní mechanické, fyzikální a tepelně technické vlastnosti.

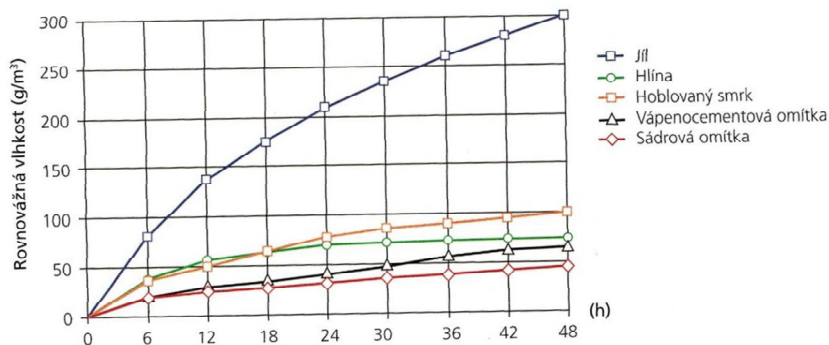
Z ekologického hlediska záleží na výběru hliněných výrobků. Jako u jiných materiálů, i zde lze najít výrobky velmi drahé a zároveň postavit konstrukci skoro zadarmo. Vše závisí na zručnosti stavitele a dostupnosti materiálu. Výstavbu hliněných objektů lze provést i svépomocí, je však potřeba určitá míra zručnosti. Stejně tak se dá ušetřit i na materiálu, který může být komerční, ale stejně tak se dá použít hlína nejlépe z okolí místa stavby, kdy odpadnou i vysoké náklady na dopravu. Stejně tak i směs na výrobu hliněných objektů lze vytvořit svépomocí, je však nezbytné mít alespoň teoretické znalosti k jejímu vytvoření. Tímto se dá konstatovat, že z hlediska ekonomického je na tom hlína velice dobře. I právě z těchto důvodů se výstavba hliněných objektů stále drží na výsluní. Příkladem je oblast jezera Titicaca, kde jak v jeho okolí, tak i na ostrovech a v horách, je právě hlína stále nejčastějším materiálem. Výstavba jednopatrového obydlí i s výrobou nepálených cihel zde trvá necelý měsíc.

Jak již bylo zmíněno výše, ideálním zdrojem pro výrobní materiál je naleziště hlíny v blízkosti stavby. Tento fakt dělá z hlíny i ekologicky velice cenný materiál, stejně tak pokud odpadne doprava, ušetří se i na energii. Celkový proces přípravy hliněných výrobků je pokládán za energeticky méně náročný. Energetická náročnost výroby materiálu a následného stavebně-montážního procesu je mnohem nižší než u konkurenčních materiálů. Například plná pálená cihla běžného formátu spotřebuje na svou výrobu energii v celkové hodnotě cca 2,0 kW, což je v porovnání s výrobní

energetickou náročností stejně velké nepálené cihly stabilizované cementem (0,05 kW), asi 40 x více.

Stejně tak je hlína biologicky nezávadný materiál, který jde bezproblémově recyklovat. Hlína je všeobecně známá zklidňujícími a léčivými účinky. Zabezpečuje zdravotně příznivé obytné klima interiéru díky filtraci a čištění vzduchu. Jelikož hlína vyniká tím, že absorbuje a váže z okolí škodliviny a nežádoucí zápachy, zabraňuje tím vysychání sliznice a snižuje tvorbu jemného prachu. Použití hliněné konstrukce či omítek je tedy vhodné pro alergiky. Další významnou vlastností je, že svými vynikajícími hygroskopickými vlastnostmi optimálně reguluje relativní vlhkost vzduchu v interiéru. Hliněné stěny i hliněné omítky dokáží absorbovat nadbytečnou vzdušnou vlhkost (v podobě vodní páry se ukládá v kapilárním systému, aniž by došlo k nežádoucímu bobtnání či změknutí konstrukce) a v případě, že okolní vlhkost je naopak nedostatečná, uvolní se z hliněné konstrukce nazpět. Z výzkumů vyplývá, že cihla z nepálené hlíny dokáže za dva dny přijmout, při stoupající relativní vlhkosti vzduchu z 50 % na 80 %, minimálně 30 x více vlhkosti než pálená cihla. Díky tomu je v hliněných objektech dlouhodobě dosaženo ideální konstantní hodnoty vlhkosti vzduchu okolo 50%. Hliněné konstrukce mají vysokou specifickou tepelnou kapacitu, díky ní mohou účinně akumulovat tepelnou energii v zimě i v létě. Pouze s minimálními výkyvy regulují teplotu vzduchu vnitřního prostředí. Díky tomu je v místnosti udržována příjemná teplota vzduchu a celoroční náklady na vytápění jsou nižší než u konkurenčních materiálů. Tepelně-izolačních vlastností lze dosáhnout použitím vylehčených hliněných stavebních materiálů, do kterých se jako plnicí složky přidávají dřevěné třísky, perlit nebo sláma.

Nepálená hlína má ale i své proti. Bez řádné stabilizace je velice náchylná na působení vody. Je to způsobeno bobtnáním jílu při kontaktu s vodou v kapalně fázi. K nežádoucím účinkům dochází také při sesychání, kdy dojde ke smrštění. Vodou je tedy narušena struktura a dochází tak ke snížení pevnosti stavebního prvku. Nejčastějšími ochrannými mechanismy je hutnění, volba vhodných jílu, přidání výztuže či přidání stabilizačních pojiv.



OBRÁZEK 6

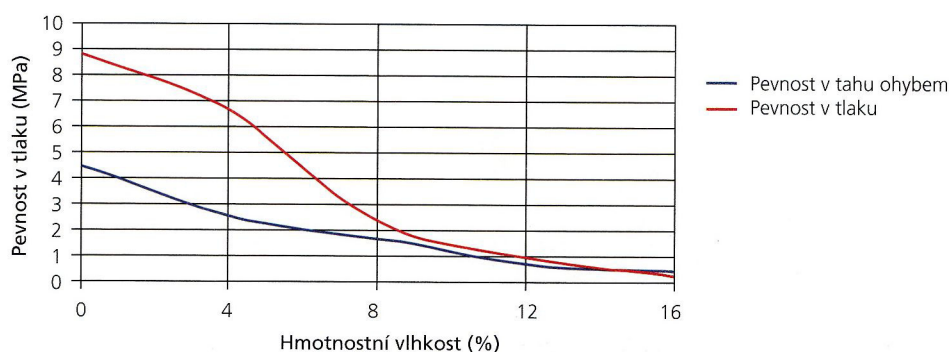
Sorpční vlastnosti stavebních materiálů při teplotě 21 °C a vzestupu relativní vlhkosti z 50% na 80% [2]

2.3.1 Mechanické vlastnosti

První důležitou mechanickou vlastností, která stojí za zmínění je objemová hmotnost, jenž činí bez přísad 1600-2000 kg/m³; s lehčivou 1000-1600 kg/m³. Pevnost v tlaku stavebních hliněných produktů závisí na složení a vlhkosti směsi a také na hutnění a celkovém způsobu zpracování. S nosností 3-10 N/mm² splňují hliněné cihly požadavky pro nízkopodlažní výstavbu. Na stejných vlastnostech jako pevnost v tlaku závisí i pevnost v tahu za ohybu (cca 1-4 N/mm²).

2.3.2. Fyzikální vlastnosti

Jednou z fyzikálních vlastností hliněných stavebních materiálů je eroze, ta nastává v důsledku působení klimatických vlivů na povrch materiálu. Předcházet jí lze zhutněním, způsobem zpracování nebo zabráněním působení těchto vlivů na konstrukce. Hliněné konstrukce je nutné navrhovat tak, aby vodní páry kondenzovaly mimo ně, aby nedošlo k nežádoucím účinkům způsobeným kondenzovanou párou. Další fyzikální vlastností je přirozená vlhkost, v našem zeměpisném pásmu od 2% v létě do 5% v zimě v případě oddělení od všech ostatních vlhkostí (kapilární, srážková). Jak již bylo popsáno výše, hliněné budovy mají schopnost regulovat vlhkost v místnosti. Hlína je zcela ohnivzdorná. Dle zahraničních norem jsou za zcela ohnivzdorné považovány vyschlé hliněné stěny o tloušťce min. 25 cm i s přidávanými stébelninami, pokud objemová hmotnost neklesne pod 1700 kg/m³.



OBRÁZEK 7

Graf vztahu pevnosti v tlaku a pevnosti v tah [5]

2.4. Technologie zpracování hliněných stavebních materiálů

Jak již bylo zmíněno, prvním krokem přípravy výstavby hliněné konstrukce je najít zdroj materiálu. Nejlepší samozřejmě je, pokud se podaří najít zdroj ideální jílovité hlíny hned za budoucí stavbou. Tímto faktem se lidé řídili již od pradávna, vždy se využívalo zdrojů, které byly nejbližší, tam kde byla hojnost dřeva, obydlí byla ze dřeva, kde byl vhodný kámen, byla obydlí kamenná a kolem vody, kde lze nalézt vhodnou hlínu, byla obydlí hliněná. V dnešní době je to ovšem úplně jinak, záleží čistě na tom, co si budoucí vlastník budovy přeje a málokdo se zabývá využitím nejbližších zdrojů. Je tedy hned několik možností, které jsou popsány níže.

Tradiční i novodobý způsob zpracování stavebních materiálů určených pro výstavbu hliněných objektů má i společné části. Nejdříve je třeba vytvořit hliněné těsto, které vzniká společným hnětením dobře promíchaných složek. V této fázi postupu dochází k roztírání drobných hrudek hlíny. Jílové částice musí být dokonale rozmělněny, aby dostatečně plnily svou funkci pojiva.

2.4.1. Tradiční způsob zpracování

Prvním krokem při výstavbě hliněných objektů bylo nakopání a odležení hlíny. Dále bylo nezbytné odhadnout poměr hlíny, vody a dalších komponentů. Tuto činnost dělali zpravidla specializovaní lidé zvaní „hlináci“. Po tomto kroku se, pokud bylo třeba, hlína zvlhčila vodou, byla přidána ostřiva a plniva a jiné nezbytné komponenty pro dotyčnou stavbu. Zpracování vzniklé hmoty bylo ruční motykami a hráběmi a prošlapávané bosýma nohama. K prošlapání mohlo být použito i dobytka. Následovalo naplnění do forem, dusání do bednění nebo výroba válků apod.



OBRÁZEK 8
Prošlapávání hlíny, Spišské Podhradice [5]

2.4.2. Dnešní způsob zpracování

Jak již bylo zmíněno výše, moderní doba přinesla více způsobů zpracování hliněných stavebních materiálů. Změnou je již to, že lze jednotlivé složky dopravit na místo stavby, není tedy problém začít s výstavbou téměř kdekoliv. Prvním krokem, po dovozu hlíny, je proházení sítím. Následuje zpracování v míchačce nebo ručně, aby se jííl rozmělnil s vodou. Do vzniklé hmoty jsou postupně přidávána plniva, ostřiva a následuje vytvoření samotných hliněných prvků.

Dalším způsobem je využití průmyslově vyrobených suchých či mírně vlhkých směsí. Po dopravení směsi na stavbu v pytlích či vacích, se směs zpracovává v běžných míchacích strojích nebo pomocí ručních mísidel, přidává se pouze voda. Možností je využití průmyslově vyrobených mokřých směsí, kdy je materiál dopraven již připravený na korbě nákladního automobilu přímo od výrobce na místo určení, kde ho lze ihned použít.

2.5. Postupy výroby zdiva z hlíny

Hlína je ve stavebnictví využívána nespočetně způsoby. Od prostorů hloubených do hlíny v přírodním uložení, přes mazaniny, malty a omítky po pálené a nepálené cihly. Cihla je velice starým stavebním prvkem, kdy se hlína formuje do pravidelných tvarů (nejčastěji kvádr s poměrem stran 4:2:1). Nejstarší cihly jsou známy již více než 10 000 let, v následujících odstavcích se seznámíme s několika technologickými postupy jejich výroby.

Jak již bylo zmíněno, cihly se dělí na pálené a nepálené. Cihly pálené jsou vyráběny již od starověku. Nejdříve byly vyráběny hrnčířským způsobem. Dalším postupem, který je používán i v dnešní době, je vytvrzení cihly pomocí žáru ve vypalovací peci. Podobnou technologií jako pálené cihly se v cihelnách z cihlářské hlíny vyrábějí také další stavební prvky, jako jsou střešní tašky, meliorační trubky, ozdobné dlaždice, cihlové tvárnice, hurdisky apod. V dnešní době existují mnohá vylepšení postupů i receptur při výrobě pálených cihel, i díky tomu lze pálené cihly použít k výstavbě až osmipatrové budovy.

Mnohem starší historii mají cihly nepálené. Od zdiva páleného se liší jak postupem výroby, tak i složením směsi pro jejich výrobu. Dle přípravy hlinité směsi a způsobu provedení stavby rozeznáváme několik druh zdiva.

Jednou technikou staveb z nepálené hlíny je zdivo z hliněných bloků, které se jen málo liší od tradičního způsobu staveb z cihel pálených. Jedním ze způsobů výroby hliněných bloků je použití hlíny s přirozenou zemní vlhkostí, která se ve formách pěchuje nebo lisuje. Celý pracovní proces probíhá za sucha, vlhkost směsi je stejná jako přirozená vlhkost hlíny v zemině. Dalším způsobem výroby je příprava směsi hlíny, vody a případně příměs stébel. Bloky se ve formách hnětou a celý proces probíhá za vlhka. Třetím způsobem výroby je z hlíny rozdělané vodou na hustou kaši, která je lehčená velkým množstvím příměsí ve formě stébel. Vzniklé bloky se ve formách lisují ručním nebo strojním lisem. Pracovní proces opět probíhá za vlhka. Po zformování bloků je potřeba nechat je vysušit, nejčastěji jsou sušeny pomocí slunečního záření. Je ovšem nutné bloky v době vysoušení v určitých intervalech otáčet, aby vysychaly rovnoměrně. Hotové tvárnice se mohou použít jak na konstrukce a stavební prvky nenosné, tak i nosné. Bloky se dají vyrábět v kterémkoli ročním období, je však nezbytné, aby byly vysušeny před dosažením teploty bodu mrazu. Bloky se tak dají vytvářet do zásoby při určitých skladovacích podmínkách. Výhodou tohoto typu zdiva je jen nepatrná míra smršťování.



OBRÁZEK 9

Sušení hliněných cihel pomocí slunečního záření, Puebla, Mexiko (archiv autora)

Další způsob stavby z hlíny je pomocí zdiva dusaného do bednění. Tato metoda patří mezi nejstarší, postupem času ale došlo k výraznému pokroku a vývoji této metody. Základním předpokladem je výstavba bednění, například z fošen či z desek, které je velmi snadné sestavit i rozebrat. Bednění se následně plní po segmentech hlínou s přirozenou vlhkostí a v průběhu plnění se dusá. Dříve se hlinitá masa dusala pouze ručními pěchy, v dnešní době se dává přednost pneumatickým nebo elektrickým pěchům. Po odbednění lze na povrch zdiva nanést hliněnou omítku, stěny vystavené zvýšené vlhkosti je výhodnější omítnout vápennou či nastavovanou cementovou omítkou. Oproti zdivu z hliněných bloků je výstavba zdiva z dusané hlíny rychlejší, nevýhodou je však značné sesedání a smrštění zdiva.

Dalším typem zdiva je zdivo lepeničné, které je považováno za nejprimitivnější způsob zdění z hlíny. Prvním krokem je výroba kašovitě směsi z hlíny a přísad, jako je například sláma, a následuje nahazování hlinité směsi na tvrdou podezdívku bez bednění a sešlapování. Případné nerovnosti se zarovnávají rýčem. Toto provedení zdiva je velice levné, nevýhodou je však dlouhé vysychání zdiva a značné a pomalé smršťování a sedání.

Velice specifickým hliněným zdivem je zdivo skeletové a hrázděné, které se buduje jako výplň nosné kostry sloupků. Sloupky jsou převážně hraněné nebo z kulatiny. Výplňové zdivo je především z lehčené hlíny bohaté na vláknité přísady, které zvyšují tepelně izolační vlastnosti.

Další technikou, která má svůj historický ohlas, je výstavba z hliněných válků. Stavební prvky nemají tvar kvádra jako klasické cihly, ale tvar připomínající bochníky chleba. Války se většinou válely ručně z hliněného těsta s přidanými příměsemi ječmenných plev. Těsto se musí před samotným válením pomocí hnětení nebo prošlapáním dostatečně homogenizovat. Války byly kladeny diagonálně ve vrstvách proti sobě a prokládány provazy upletenými ze slámy, tzv. povříslly. Budovy z válkového zdiva jsou k vidění například na Přerovsku, Vyškovsku nebo ve zbytcích ohradního zdiva usedlostí na Prostějovsku. Z důvodů ojedinělosti tohoto způsobu práce s hlínou ve stavební kultuře často dochází k přemístování dochovaných částí zdí do expozičních areálů.

Za jednu z nejmladších, nejrozšířenějších a dosud nejméně dotčených hliněných cihel je považována vepřovice. Materiálem pro výrobu tohoto nepáleného zdiva je hlína s co možná největším obsahem jílu, dále se přidávají přísady jako vápno, sláma, plevy, písek či chlévská mrva. Dalším postupem je promísení surovin s dostatečným množstvím vody. Poměr jednotlivých surovin a vody závisí na vaznosti hlíny, dle potřeby se postupně přidává písek či jiné příměsi. Přidáním chlévské mrvy do směsi lze dosáhnout větší odolnosti cihly proti vodě. Tyto cihly byly tmavší a používaly se na zakládání stavby. Dalším krokem je provedení homogenizace směsi pomocí ušlapávání nebo dusáním. Dále se směs v kašovitém stavu upěchuje do připravených forem a nechá se vysychat na slunci. Dalším technologickým postupem je postavení vepřovicových sloupů kolem dveří a oken, následuje přiložení desek jako bednění z obou stran a napěchování vzniklého bednění jílovou hmotou podobného složení jako u vepřovicových cihel jen s menším obsahem vody. Tento typ zdiva se nazývá zdivo nabíjené – nabíjenice. Byl objeven i ve městech, a to i u patrových měšťanských domů (Mikulov).

Při výstavbě se dbá nejen na kvalitu cihel, ale jak je tomu u všech materiálu i na vzhled. Prvním prvkem, který ovlivní výsledný vzhled je barevnost cihel. Barevnost se dá ovlivnit například výběrem barvy omítky. Omítka ovlivní také výslednou strukturu. Struktura se dá dále upravit pomocí vrypů či ornamentů vrytých do omítky. Vrypy se dají dělat samozřejmě i do samotných cihel. Dalším dekorativním prvkem je například vtlačování kamínek do cihel nebo hliněné malty. Tento typ dekorace je k vidění například v Mexiku.



OBRÁZEK 10

Dekorace pomocí vtačování kamínků, Tepoztlan, Mexiko (archiv autora)

2.6. Hliněné omítky

Dalším výrobkem z hlíny jsou hliněné omítky, jejichž vzorky jsou součástí dalších částí této diplomové práce. Hliněné omítky jsou vhodnou volbou nejen pro hliněné stavby. Díky pozitivním vlastnostem hlíny se hodí jak na vnitřní tak vnější prostory. Jedním z mnoha pozitiv, proč využít hliněnou omítku v domácnosti, jsou již výše zmíněné vlastnosti hlíny, jako je schopnost regulovat relativní vlhkost vzduchu v místnosti a tím podpořit vnitřní pohodu pro obyvatele. Díky své difuzní otevřenosti a akumulační schopnosti zvlhčují vzduch v místnosti nebo naopak odebírají vzdušnou vlhkost z místnosti. Stejně tak prospívají alergikům, díky schopnosti pohlcovat škodlivé látky jako cigaretový kouř, pachy z kuchyně atd. Konzervují dřevo, jelikož mají schopnost udržovat přirozenou vlhkost a také akumulovat teplo.

Co se složení týče, neobsahují žádná hydraulická pojiva ani škodlivé přísady. Hliněná omítka je dobře tvarově přizpůsobitelná, vyznačuje se tedy neomezenými možnostmi tvarování povrchu. Dalším významným pozitivem je, že se dají 100% recyklovat a stačí obyčejné rozmícháním s vodou a ze zatvrdlé omítkové směsi opět dostáváme použitelnou směs.

Stejně tak i příprava hliněné omítky není nijak složitá. Stejně jako u cihel i zde můžeme omítku vyrobit od začátku až do konce svépomocí. Samozřejmě je i v tomto případě možné využít komerční zdroje v podobě suchých směsí, které se pouze smíchají s vodou. Pro přípravu je nezbytná jemně prosátá hlína, je-li třeba, přidá se podle potřeby písek. Písek pro omítky by měl být co nejjemnější (například jemný maltový písek).

Dalším postupem je smíchání suchých ingrediencí s vodou. Směs je nezbytné opravdu důkladně promíchat. Teprve po promísení se do vzniklé kaše přidávají příměsi a přísady. Nejčastěji se přidávají ostriva jako plevy nebo drobná řezanka. Dále se do omítek přidávají pigmenty, aby se dosáhlo požadované barevnosti omítky.

Stejně tak jako u jiných materiálů jako je třeba lepidlo, je potřeba směs po smíchání nechat odležet. Zjištění ideálního času pro odležení je součástí výzkumné části této práce.

Základní barva omítek je závislá na barvě jílu. Nejčastější barvou je žlutá okrová, pro světlou barvu je vhodné volit co nejsvětlejší písek, jelikož vytváří nezabarvený základ (písek jako na volejbalových hřištích). Nejdostupnější barvy jílu jsou červená, zelená (šedo zelená), modrá, černá (po uschnutí je barva omítky šedá), žlutá a bílá. Pro další barvy je potřeba přidat pigmenty. Pigmenty mohou být jak přírodního původu tak i klasické pigmenty přidávané do malířských barev (např. tubagel). Z přírodních pigmentů jsou to například oxidy kovů, speciální hlínky (po výpalu = umbra) a okry.

Po přidání všech potřebných ingrediencí je opět na řadě důkladné promíchání. Po přípravě směsi můžeme začít s nanášením omítky, vrstva by však neměla být tlustší než 1 cm. Podrobnější postup bude probrán v experimentální části, jelikož právě vzorky hliněných omítek jsou předmětem výzkumu této diplomové práce.

2.6.1. Vnější omítky

Pokud je zvolena pro vnější omítání hliněná omítka, je nezbytné povrch zdiva před omítáním zdrsnit a očistit. Zdrsňuje se zpravidla železnými hráběmi a očišťuje koštětem nebo hrubým smetkem od částic, které se uvolnily. Před omítnutím je potřeba stěnu alespoň trochu navlhčit, nejlépe k tomu slouží smeták namočený ve vodě. Venkovní hliněná omítka se nejčastěji nanáší ve dvou tenkých vrstvách. Spodní vrstva obsahuje více stébelnin a její povrch je potřeba před plným zatvrdnutím zdrsnit okartáčováním koštětem. Dalším krokem je nanášení druhé velmi tenké vrstvy s příměsí plev. Pokud je směs příliš mastná je potřeba ji doostřit pískem. Tloušťka obou vrstev omítky by neměla přesáhnout 2 cm. Zhruba tři týdny po nanesení druhé vrstvy omítky, se provede nátěr vápenným mlékem, aby se uzavřely případné trhlinky v omítce. Pokud by se trhlinky neuzavřely, mohla by vzniknout snadno v hlíně nadměrná vlhkost, omítka by byla hůře odolná vůči mrazu a dešti, a následně by mohlo dojít i k narušení stěny. Tyto nátěry je potřeba opakovat první tři roky jednou za rok, poté stačí pozměnit frekvenci nátěrů na jednou za 3 roky nebo dle vizuálního uvážení. Nároží nebo jiné hrany je třeba

zaoblit, aby nedošlo k jejich poškození. Před samotným omítáním je potřeba provést zkoušku, která je popsána v experimentální části.

2.6.2. Vnitřní omítky

V dnešní době zažívají vnitřní hliněné omítky návrat do místností v domácnostech. Jedním z míst, kde se vnitřní hliněné omítky hojně využívají, jsou stáje, kde se následně také natírají vápenatým mlékem. Důležité u těchto i jiných prostor je, aby bylo zajištěno účinné větrání, jinak by mohlo docházet ke kondenzaci vodních par a tím k změknutí zdiva. Proto se do prostorů, kde je vysoká relativní vlhkost, doporučuje hydrometr nebo jakýkoliv jiný systém na sledování kondenzace.

Díky svým vlastnostem udržovat vnitřní pohodu v místnosti a tím, že je vhodná i pro nasáková zdiva, se stává vnitřní omítka rok od roku populárnější. Využití najde především v obytných místnostech pro alergiky. Díky velké škále barevných pigmentů ji lze rovnou použít i jako dekorativní omítku. Dle technik nanášení lze i vytvořit určité dekorativní prvky (filcování, zahlazování). Jeden z výrobců suché směsi pro vnitřní omítky dokonce uvádí, že lze přidat kousky bylin pro oživení barevnosti omítek nebo jen jako dekorativní prvek. Nevýhodou těchto omítek však je, že nejsou barevně ani strukturálně zcela jednolité, tento jev však lze stejně jako u dřeva vnímat i pozitivně.

2.7. Další využití hlíny ve stavebnictví

Hlína má i spoustu využití mimo hliněných omítek a zdiva. Jedním z nich je již stovky let hliněná podlaha. Hliněná podlaha se v mnoha domech používá dodnes, dokonce je k vidění i v některých domácnostech na našem území, zejména na Valašsku. Jedním ze způsobů použití hlíny na podlahu je pouhá úprava podloží, okolo kterého je postaveno obydlí, to můžeme vidět například v typických afrických chýších nebo v rumunských salaších. Dalším způsob zhotovení hliněné podlahy je vytvoření směsi hlíny bohaté na jíl a vodu. Dle zdrojů z Valašska se do směsi přidává i trocha soli, která v podlaze drží vlhkost a zabraňuje degradaci materiálu vlivem vysychání. Dalším krokem je důkladné promíchání, většinou je směs prošlapávána. Po důkladném promísení přichází na řadu rozhodnutí, jak samotná podlaha bude vypadat. Nejdříve je ovšem potřeba dostatečně připravit podklad pro pokládku podlahy, je ho tedy potřeba dostatečně vyrovnat a očistit. Teď již k samotné realizaci podlahy. Je zde možnost vytvoření kostek, které se následně pokládají na sraz. Tento typ podlahy je nezbytné po dobu jednoho měsíce udusávat a stejně tak potřebuje stálou údržbu, jako je udusávání povrchu, vlhčení, domazávání oddrolených částí. Oproti tomu poskytne přírodní domácí

pohodu vhodnou pro alergiky a udrží přirozenou vlhkost v místnosti. Další typ hliněné podlahy patří mezi nejnáročnější hliněné konstrukce. Tato podlaha je realizována z několika vrstev různých hliněných směsí, každá vrstva zajišťuje rozdílnou funkci. Spodní vrstva tvoří tuhou desku, která roznáší veškeré tlaky horních vrstev. Je složena převážně z hlíny, expandovaného jílu a různých frakcí písku tak, aby se vše do sebe zaklínilo a drželo při sobě. Na tuto vrstvu je kladen velký důraz především v případě, že děláme podlahu na nestabilním podloží. Střední vrstvu tvoří jíl, písek, sláma, piliny atd. Finální vrstva je provedena tak, aby byla co nejodolnější. To se dosáhne přesným složením různých druhů písků. Mnohdy se jedná o 7 – 10 druhů písků. Docílí se tím vyplnění všech mezer a jíl pak spojí zrnka v jeden celek, který vytvoří tvrdou horní vrstvu. Je ovšem potřeba tuto vrstvu po dobu 5 dní kropit a uhlazovat hladítky, aby co nejtěsněji do sebe zapadly všechny zrnka písku. Výsledná výška podlahy by měla být zhruba 15 cm.



OBRÁZEK 11
Hliněná podlaha [13]

Dalším produktem jsou hliněné malty, které se používají především pro zdění nepálených cihel. Hliněná malta je směs z hlíny a vody. Hlína by měla být zbavena všech nečistot včetně humusovitých částí. Stejně tak jako u všech ostatních produktů, čím více obsahuje hlína jílu tím lépe, jednoduše řečeno, nejvhodnější malta pro hliněné malty by měla být „mastná“. Do základní směsi hlíny a vody se může přidat i ostrivo jako je písek, sláma apod. Celá směs však nesmí po vyschnutí popraskat.

Dříve byla hlína hojně užívána i k vytvoření mazanin. Přípravovala se z čisté cihlářské hlíny. Nanášela se ve vrstvách a průběžně dusala, dle toho pro jaký účel byla stanovena. Nejčastěji byla realizována na půdách, kde někdy tvořila součást s dřevěnou izolační vložkou. Nebo byla realizována v mlatech, kde dosahovala výšky 30 cm a povrch poslední vrstvy býval před dusáním pokropen čerstvou krví nebo čpavkovou vodou a posypán popelem.

Hlína byla a je používána jak samostatně, tak i v kombinaci s jinými materiály. Příkladem jsou omazávky, které tvořily součást dřevohliněných staveb. Jedním ze způsobů bylo omazání proutěného výpletu dřevěné kostry domu hlinoslaměnou kaší. Dalším příkladem je omazávání roubených staveb silnou vrstvou hlinoslaměné kaše, která sloužila jako ochrana proti ohni.

Hliněné konstrukce byly a budou součástí tohoto světa. Spousta národů doposud využívá hlíny a jiných přírodních materiálů jako je kámen a dřevo, k výstavbě svých obydlí, jelikož je to pro ně nejlevnější a mnohdy i nejdostupnější způsob výstavby. A někteří se snaží udržet tradice, k vidění je to například na Valašsku, kde se salaše stále staví po stovky let stejným způsobem. Moderní doba přinesla mnoho nových materiálů, se kterými se pracuje snadněji, jsou lépe dostupné a díky rozvoji chemického i stavebního průmyslu jsou jejich vlastnosti lepší a lepší každý rok. Ale ani hlína a její stavební produkty nestojí ladem, za poslední pár let stoupá i vývoj v tomto odvětví. Neustále se vylepšují receptury směsí, vyvíjí se rychlejší způsob výstavby i zhotovení samotných produktů. Lidé nacházejí stále více důvodů, proč se vracet k přírodním materiálům a předcházet tak například syndromu nemocných budov nebo alergiím. Tato problematika se již do této diplomové práce nevešla, jelikož hlavním jejím tématem je rozvoj právě hliněných směsí a to konkrétně hliněných omítek.

3. Experimentální část

Tato část diplomové práce popisuje výběr a následné testování vzorků. Pro testování byly vybrány tři vzorky, kde dva z nich jsou komerční. Dále jsou v této části popsány zkoušky vlastností hlíny a následný proces prováděné zkoušky konzistence po vytvoření směsi a zkoušky vaznosti.

3.1. Hypotéza

Jedním ze základních vlastností hlíny je vaznost. Pokud není dostatečná, není dostatečná ani soudržnost materiálu. Pokud je směs pro hliněné omítky nesoudržná, nedosáhne se předpokládaného výsledku a výsledná omítka bude ze zdiva odpadávat. Otázkou je, kdy má směs nejlepší vaznost, tedy kdy je nejvhodnější hliněnou směs použít, aby výsledná omítka měla co nejlepší soudržnost a tím prokázala budoucímu majiteli svou prospěšnost.

Pro hliněnou směs lze najít ideální čas, kdy bude vaznost největší, a tudíž bude v tomto čase nejvhodnější ji použít. Předpokladem je, že od smíchání ingrediencí pro výrobu hliněné směsi se bude vaznost s časem postupně zvyšovat, ale od určitého časového rozmezí se zastaví a zůstane téměř konstantní nebo jen s velmi malými odchylkami. Tento fakt bude ověřen na třech vzorcích hliněných směsí.

3.2. Cíle

Cíl I.: Prvním cílem této diplomové práce je zjistit, zda se vaznost nepálené hlíny zvyšuje s časem.

Cíl II.: Nalezení nejvhodnějšího času, kdy vaznost hliněné směsi přestane výrazně stoupat.

3.3. Zkoušky

Základní vlastnosti hlíny se zjišťují již na staveništi. Je potřeba zjistit, zda se směs hodí pro danou stavbu a zda byly přidány vyhovující přísady ve správném množství. Zkoušky se dělají především v laboratořích, na větších stavbách se buduje pomocná laboratoř přímo na stavbě, aby mohly být vlastnosti kontrolovány pohotově.

Prvním krokem je odebrání vzorku, který se odebírá ze sond kopaných nebo vrtaných. Zkušební vzorky musí být čisté, musí být zbaveny všech organických částí a humusu. Aby mohla být hlína přezkoumána, je potřeba ji nejdříve přesušit. Přesušení může být na slunci, kamnech nebo v elektrické sušárně. Následuje prosátí sítem s otvory

2/2mm a odstranění hrubších částic a případných zbytků rostlin. Dalším krokem je navlhčení hlíny tak, aby byla tvárná. Směs se následně propracuje. Propracování trvá až do té doby, než je směs stejnorodá, drobtovitá a jemně vlhká.

3.3.1. Plastičnost

Aby se docílilo jednotného základu směsi pro porovnání zkoušek, je potřeba tuto skutečnost ověřit zkouškou plastičnosti dle ing. Pollacka a ing. Richtera.

3.3.1.1. Zkouška plastičnosti

Ze vzniklé směsi se suchýma rukama vypracuje koule váhy 200 g, je nezbytné vypracovat ji co možná nejrychleji, aby byla zachována vlhkost. Tato koule se volně spustí z výšky 2 m (měřeno od středu koule) na pevnou desku. Doporučuje se deska ocelová. Pokud je zploštění vzniklé dopadem koule o průměru 50 mm, jedná se o normální stupeň plastičnosti. Pokud je průměr větší než 50 mm, je směs příliš vlhká a je potřeba propracováním vlhkost snížit. Pokud je naopak průměr menší než 50 mm, jedná se o směs s nedostatečnou vlhkostí. K měření průměru se doporučují použít skleněné destičky, na kterých jsou vyznačeny soustředné kruhy, z nich hledaný 50 mm průměr je výrazněji vyznačen.

3.3.2. Vaznost

Vaznost je jedna ze základních vlastností hliněných směsí. Jak již bylo řečeno, pokud je vaznost nedostatečná, je nedostatečná i soudržnost. Vaznost nám určuje, jak je hlína tučná či hubená. Pro omítky je vhodná hlína mírně hubená až tučná. Pokud hlína i bez ostření nedosahuje vaznosti 250 g/5cm², je hlína moc hubená a je pro stavební účely nevhodná.

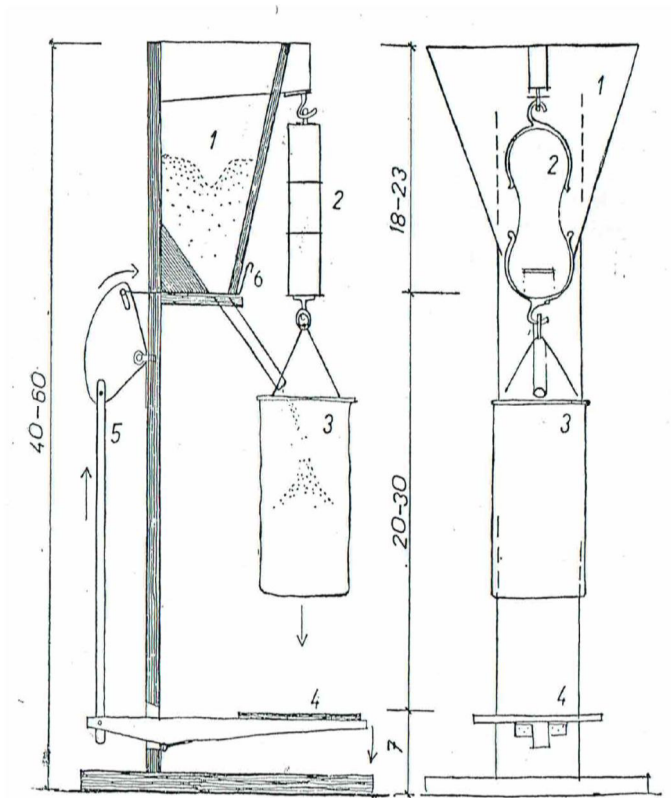
3.3.2.1. Zkouška vaznosti

Zkouška vaznosti je zároveň i zkouška pevnosti v tahu v mokřém stavu. Pro popis zkoušky bude využita citace z knihy Stavby z nepálené hlíny autorů Dr. Vlastimila Havlíčka a Ing. Karla Součka ze strany 23 a 24:

„Pokusný vzorek hlíny, připravený ve stavu normální plastičnosti, se dusá ve formě z ocele nebo tvrdého dřeva do tvaru osmičky se středním průřezem 5 cm² (22,5 x 22,5 mm nebo 25 x 20 mm). Forma musí být dostatečně pevná, aby při dusání nezměnila tvar

a snadno se rozebírala. Může se použít forem obvyklých pro zkoušku cementu. Forma musí být před vyplněním vyčištěna a vytřena olejem. Do formy se vtlačí hlína palci tak, aby formu asi o 1-2 cm přesahovala, a pak se dřevěnou paličkou udusá. Potom se nožem vrstva hlíny nad formou odstraní a vzorek se zarovná a uhladí. Potom se uvolní svorky a forma se sejme s podložky, ke které byla připevněna, a opatrně se odstraní boční strany formy. Jestliže se vzorek přilepil k formě, necháme formu několikrát padnout s výšky asi 10 cm na tvrdý podklad.

Zařízení na zkoušku vaznosti hlíny se skládá z ocelového nebo dřevěného rámu, v jehož horní části je zavěšena volně otáčivá objímka na upevnění zkušební vzorku. Na dolní části vzorku (osmičky) je zavěšena lehká nádoba obsahu asi 2 l, která i se zavěšovací svorkou váží nejvýše 200g. (Nádoba bývá z hliníku, naolejovaného kartonu nebo ji tvoří plátěný vak.) K horní části rámu je připevněna plechová nádržka obsahu asi 5 l s trychtýřovým dnem s otvorem, která je naplněna dobře plaveným, vysušeným pískem s velikostí zrn 0,1-1 mm. Otvor k vypadávání písku je upraven tak, aby se písku sypalo nejvýše 750g/min a aby se tak vyloučilo působení dynamických sil ve chvíli přetržení vzorku. Při zkoušce musí být vzorek hlíny ponechán v klidu, tj. nesmí být vystaven žádnému otřesu. Zkušební vzorek se zatěžuje pískem sypaným do nádoby zavěšené na dolní části osmičky až do okamžiku přetržení vzorku. Když se váhou písku v nádobě zkušební vzorek přetrhne, udeří dno nádoby na páku uzávěru a automaticky zastaví další sypání písku. Váha nádoby písku a dolní svorky vyjadřuje sílu, které bylo třeba k přetržení vzorku hlíny (k váze dolní utržené části vzorku se nepřihlíží). Stupeň vaznosti se měří v g/5cm². Při každé zkoušce se konají nejméně 3 pokusy. Výsledkem je aritmetický průměr dílčích výsledků.“ [1]



OBRÁZEK 12

Přístroj na zkoušku vaznosti s automatickým uzávěrem [1]

V knize je také popsáno třídění druhů hlíny podle zkoušky vaznosti, rozdělené je na kategorie hlína a jíl. Velmi hubená hlína začíná vazností $250 \text{ g}/5\text{cm}^2$. Horní hranice pro hlínu velmi tučnou je $1800 \text{ g}/5\text{cm}^2$. Hubený jíl začíná vazností $1800 \text{ g}/5\text{cm}^2$ a tučný jíl dosahuje hranice až $4500 \text{ g}/5\text{cm}^2$.



OBRÁZEK 13

Dřevěná forma ve tvaru osmičky pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

3.3.3. Smrštění

Další důležitou vlastností hlíny je smršťování. Zde je třeba si uvědomit, jak bude hlína zpracována. Smrštění určuje vlastnosti jílových minerálů a množství plniva. Vhodné smrštění je od 1,5 do 2 %. Pokud je smrštění přes 2 %, je hlína pro stavbu nevhodná.

3.3.3.1. Zkouška smrštění

Tato zkouška vychází z normální plastičnosti. I zde bude využito citace popisu zkoušky smrštěné z knihy Stavby z nepálené hlíny autorů Dr. Vlastimila Havlíčka a Ing. Karla Součka ze strany 25:

„Pro zkoušku se připraví rozkládací formy z ocele nebo tvrdého dřeva rozměrů 22 x 4 x 2,5 cm. Před naplněním se vnitřní stěny forem potrou olejem. Do forem se vtláčí hlína upravená do normálního stupně plastičnosti a pak se dřevěnou paličkou upěchuje. Vzorek se po vynětí z formy uloží v místnosti, která má normální teplotu, na skleněnou desku lehce potřenou olejem, aby se zmenšilo tření v době vysychání vzorku. Na horní ploše vzorku se jemně vyrýpne podélná ryska a dvě příčné rysky ve vzdálenosti 20 cm od sebe. Výsledky smršťování se sledují každých 24 hodin a konečný výsledek zkoušky se zjistí po uplynutí tří dnů (na př. naměřil-li se místo 20 cm jen 19,6 cm, činí míra smršťování hlíny 2%). Smršťování se zpravidla nejvýrazněji projeví v prvních 24 hodinách. Aby byl výsledek spolehlivý, dělají se tři zkoušky; výsledkem je aritmetický průměr dílčích výsledků. Je-li smrštění menší než 1%, hlína se na stavbu nehodí, protože je příliš citlivá na působení vody. Hlíny, u nichž je smrštění větší než 1%, jsou pro stavbu vhodné, při čemž hlíny, jichž smršťování překročilo 2%, je třeba před použitím na stavbu zostrít minerálními přísadami nebo stéblinami. Hlíny se považují za náležitě zostrěné, pohybuje-li se jejich smrštění od 1,5% do 2%. Zkouškou smršťování hlíny si ověřujeme správnost ostrění (podílu příměsí), jež jsme určili podle výsledku zkoušky vaznosti. Často se pro porovnání dělá dvoji zkouška smršťování téže hlíny, a to hlíny bez ostrění příměsemi a hlíny náležitě zostrěné.“ [1]

3.3.4. Odolnost proti působení vody

Pokud obě předešlé zkoušky vyhoví, měla by se zostrěná hlína podrobit ještě zkoušce odolnosti na působení vody.

3.3.4.1 Zkouška odolnosti proti působení vody

První publikování této zkoušky u nás je z knihy Stavby z nepálené hlíny autorů Dr. Vlastimila Havlíčka a Ing. Karla Součka, citováno bude ze strany 26:

„Ke zkoušce se použije vysušených vzorků hlíny, jež zůstaly po zkoušce smrštitelnosti. Tyto vzorky se zavěsí na vhodné zařízení tak, aby se jejich dolních 5 cm ponořilo do vody ve skleněné nádobě. Sleduje se doba, ve které odpadávají jednotlivé plátky hlíny, a doba kdy se vzorek rozpadne. Jestliže se do 60 minut od ponoření vzorku do vody neodtrhnou velké kusy hlíny, je hlína dostatečně odolná. Není-li hlína na působení vody odolná, počínají již po několika vteřinách odpadávat kousky hlíny. Zdivo z takové hlíny pak vyžaduje zvláštní ochranu proti atmosférickým vlivům. Ze vzorku hlíny se střední odolností na působení vody neodpadávají celé hrudky ani po 5 minutách ve vodě, nýbrž se odtrhují jen drobné plátky. Vzorek hlíny odolné na působení vody se rozpadá teprve po uplynutí jedné hodiny.“ [1]

3.3.5. Zrnitost

Díky zrnitosti zemin je možné zeminu pojmenovat a zrnitostní meze nám umožňují stanovit mechanické chování zemin. Pro stanovení zrnitosti se nejčastěji používají zkoušky prosévací a hustoměrná.

Dále se vytvářejí křivky zrnitosti, které vyjadřují četnost jednotlivých zrnitostních frakcí, daných jejich podílem na celkové hmotnosti zeminy.

3.4. Experimentální vývoj

Prvním krokem této diplomové práce byla rešerše daného tématu. Nejdříve byl na základě vědomostí získaných z publikací, internetových i osobních zdrojů, určen postup výzkumu, vybrány vhodné vzorky a postup prezentace výsledků. Druhým krokem je již samotné experimentální ověření. Tato diplomová práce se zabývá vývojem vaznosti v čase, pro experimentální ověření bude tedy použita zkouška vaznosti a pro návrh směsi ještě zkouška plastičnosti.

3.4.1. Upravená metodika měření vaznosti v čase

Měření vaznosti v čase směsi pro hliněné omítky spočívá v provedení zkoušky vaznosti, která je popsána v předešlé kapitole, v určitých časech a následné vyhodnocení naměřených hodnot.

Prvním krokem při vývoji postupu pro změření, jakým způsobem se mění vaznost směsi hliněné omítky s vodou, bylo stanovení časů, kdy se bude měřit vaznost vzorku.

První fází bylo osvojení přípravy vzorků tak, aby čas byl co nejkratší a neztratila se při zpracování vlhkost ze vzorku. Časy byly určeny tedy tak, aby bylo možné vždy stihnout připravit vzorky a provést zkoušky vaznosti vzorků. Časy pro provedení zkoušek jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 1

Časové hodnoty pro zkoušky vaznosti

Čas [min]
7,5
15
30
60
120

Bylo předpokládáno, že vaznost hlíny se bude s časem zvedat a v určitém čase se stane konstantní, tudíž nejvhodnější pro použití. Pokud by se tak nestalo do 120 minut, čas zkoušek by se zvyšoval vždy o hodinu. Mimo časy měření byl stanoven začátek celého měření, kterým pro všechny byl začátek míchání suché směsi vzorků hliněných omítek a vody. Poté bylo rozhodnuto, že se budou zaznamenávat přesné časy dalších úkonů při přípravě vzorků, kterými jsou začátek a konec výroby vzorků.

Po určení času bylo na řadě určení množství vhodného k přípravě vzorků. Jelikož je vždy potřeba vytvořit tři vzorky, bylo navrženo připravení vzorků z 1000 g směsi hlíny.

Dalším krokem bylo navržení množství vody do vzorku, které bylo stanoveno pomocí zkoušky plastičnosti a následně aplikováno pro směs 1000 g suchého vzorku nepálené hlíny.

3.4.2. Výběr zkušebních vzorků

Základním kamenem pro měření vaznosti je vytvoření vzorků. Na základě zkušeností bylo rozhodnuto, že se bude zkoumat vaznost v závislosti na čase na třech vzorcích. Dva vzorky komerční a jedním vzorkem bude vytvořená nekomerční směs.

Prvním komerčním vzorkem, zvoleným pro výzkum vaznosti v závislosti na čase, se stala hliněná omítka Picas. Po pečlivém uvážení byla vybrána jemná hliněná omítka Picas ze série Econom.

Jako další vzorek byla vybrána jemná hliněná omítka firmy Cemix, s.r.o. Konkrétně jemná omítka pro vnitřní malbu. Další parametry budou uvedeny v části výsledků.

Nekomerčním vzorkem je směs hlíny a písku ze zdrojů ČVUT.

3.4.3. Postup přípravy vzorků

Prvním krokem přípravy vzorku bylo smíchání suché směsi vzorků s vodou. Tento postup byl prováděn v čisté misce. Nejdříve bylo naváženo množství suché směsi. Pro zkoušku plastičnosti postačilo pouze 200 g. Poté se do směsi přidávala voda pomocí odměrného válce, množství vody bylo zaznamenáváno pomocí rysek na odměrném válci. Díky zkoušce plastičnosti se určil přesný poměr vody a suché směsi. Dalším krokem bylo převedení získaného údaje množství vody pro 200 g na množství vody pro 1 000 g.

Pro zkoušku vaznosti bylo zapotřebí nejdříve připravit směs, která musí splňovat podmínky stavu normální plastičnosti, z 1 000 g suché směsi a zkouškou ověřeného množství vody. Po smíchání a důkladném ručním zpracování hliněného těsta, se může přejít k samotné výrobě vzorků. Vzorky se připravují vždy tři. Pro účely výzkumu byly použity formy z tvrdého dřeva ve tvaru osmičky se středním průřezem 5 cm². Nejdříve se formy musely vyčistit a vytřít olejem, aby šli vzorky snadno z forem vyndat. Forma se postupně plnila a dusala připraveným hliněným těstem. Je důležité, aby při přípravě vzorků, byla forma pevně upevněna, aby nedošlo při dusání k rozpojení částí formy, to by mělo za následek změnu tvaru. Hlína se do formy vtlačovala palci, po naplnění forem se zhruba 1-2 cm přesah udusal za pomoci zednické špachtle, která se ukázala jako vhodný nástroj pro tyto účely. Vrstva hlíny nad formou byla odstraněna a zarovnána pomocí nože, pro důkladné uhlazení posloužila znovu zednická špachtle. Následovalo vyjmutí formy z podložky, tím že se uvolnilo trojúhelníkové fixační dřívko. Forma se opatrně rozpojila a odstraněním bočních stran formy je vzorek zcela připraven na další postup.

3.4.4. Postup zkoušek

3.4.4.1. Zkouška plastičnosti

Prvním krokem při postupu u zkoušky plastičnosti bylo vytvoření hliněného těsta, tento postup je popsán v předešlém bodě. Dalším krokem je navážení 200 g směsi a vypracování koule z daného množství. Je nezbytné vypracovat kouli suchýma rukama a co možná nejrychleji, aby směs neztrácela vlhkost. Bylo potřeba si předem připravit desku z tvrdého dřeva a vyměřit vzdálenost 2 m nad touto deskou. Poté byla koule spuštěna z této výšky na desku. Bylo měřeno zploštění vzniklé dopadem koule. Hliněné těsto se upravovalo a postup hodů koulí se opakoval, dokud zploštění nebylo 50 mm. Následně se zapsala hodnota přidané vody v ml.

3.4.4.2. Zkouška vaznosti

Vzorek zbavený formy byl umístěn do předem připravené zavěšené otáčivé objímky z plechu. Objímky se umístily na obě poloviny osmičky s tím, že dolní objímka měla k sobě připevněnou nádobu. Tato nádoba se poté plnila jemným pískem, který byl předem prosátý, aby nedocházelo k zadrhnutí. Ve chvíli, kdy vzorek dosáhl maximální pevnosti v tahu, se v půlce přetrhl. V tuto chvíli se přestalo se sypaním písku a zvážil se obsah písku v nádobě připevněné k dolní půlce osmičkového vzorku. Výsledná hodnota byla zapsána. Tento postup se opakoval i u dalších dvou vzorků. Po dokončení a zapsání všech třech hodnot se čisté kusy vzorků vrátily a zapracovaly znovu do směsi a při dosažení předem určeného času se proces opakoval až po dosažení konstantní vaznosti.

3.4.5. Postup vyhodnocení

Prvním krokem bylo zapsání naměřených výsledků spolu s časy měření. V každém stanoveném čase byly naměřeny tři vaznosti na třech vzorcích. Aby bylo vidět, jakým způsobem se mění vaznost v závislosti na čase, byly tyto hodnoty následně zprůměrovány, a tím vznikl v daných časech jeden údaj o naměřené vaznosti. Průměr byl vypočítán minimálně ze dvou naměřených hodnot. Pokud se jedno z měření lišilo o více než 10 %, bylo z výpočtu průměru vyřazeno a průměr byl vypočten pouze ze dvou hodnot místo tří. Následovalo vyhodnocení změn vaznosti v čase a vytvoření přehledného grafu, kde byla zanesena vaznost [$\text{g}/5\text{cm}^2$] a hodnoty času [min]. Výsledná křivka znázorňuje závislost vaznosti na čase.

4. Výsledky výzkumu a vývoje vaznosti

Zpracování výsledků proběhlo postupem, který je uveden v předešlé kapitole. Celý výzkum byl proveden autorkou diplomové práce v laboratorních prostorách univerzity ČVUT v Praze. Laboratorní podmínky byly mírně omezené, tento fakt však neměl na výsledné měření zásadní vliv. I díky tomu bylo, a je možné konstatovat, že tyto zkoušky lze provést s minimem vybavení téměř kdekoliv.

V následující kapitole jsou sepsány výsledky jednotlivých měření. Originální zápisy byly provedeny autorkou diplomové práce v den laboratorních testů ručně, v této práci jsou uvedeny přepisy těchto dokumentů.

Každá podkapitola se věnuje jednomu ze vzorků. U každého vzorku byla nejdříve provedena zkouška plastičnosti, díky které se zjistil přesný poměr suché hliněné směsi a vody. Dalším krokem bylo provedení zkoušky vaznosti. Výsledná vaznost byla v jednotlivých časech z prvotních měření zprůměrována a následně byla později zanesena spolu s časovým údajem do grafu.

4.1. I. nekomerční vzorek

Prvním vzorkem pro posouzení závislosti vaznosti na čase, byla nekomerční suchá směs. V následující kapitole budou popsány naměřené výsledky vztahující se k tomuto vzorku.

4.1.1. Zkouška plastičnosti

Při zkoušce plastičnosti bylo zjištěno, že navážený 200 g vzorek spuštěný z výšky 2 m na dřevěnou podložku, dosáhne zploštění 50 mm, při hodnotě vody 30 ml.

Z této zkoušky je tedy zřejmé, že ideální poměr surovin pro přípravu vzorků je 200 g suché směsi a 30 ml vody.

4.1.2. Zkouška vaznosti

Zkouška vaznosti byla provedena dle metodiky uvedené v knize Stavby z nepálené hlíny autorů Dr. Vlastimila Havlíčka a Ing. Karla Součka na straně 23 a 24. Citace této zkoušky je uvedena v experimentální části diplomové práce.

Pro přípravu vzorků byla převzata fakta ze zkoušky plastičnosti, kde pro smíchání ideálního vzorku vyšlo, že pro přípravu vzorků je na 200 g suché směsi potřeba 30 ml vody. Tento fakt byl modifikován na přípravu vzorků pro zkoušku vaznosti, kdy se použilo 1000 g suché hliněné směsi a 150 ml vody.

4.1.3. Výsledky zkoušky vaznosti

I. směs:

Datum: 21.7.20016

Teplota v laboratoři: 26,5 °C

Složení směsi: 1000g hliněné omítky, 150 ml vody

Tabulka 2

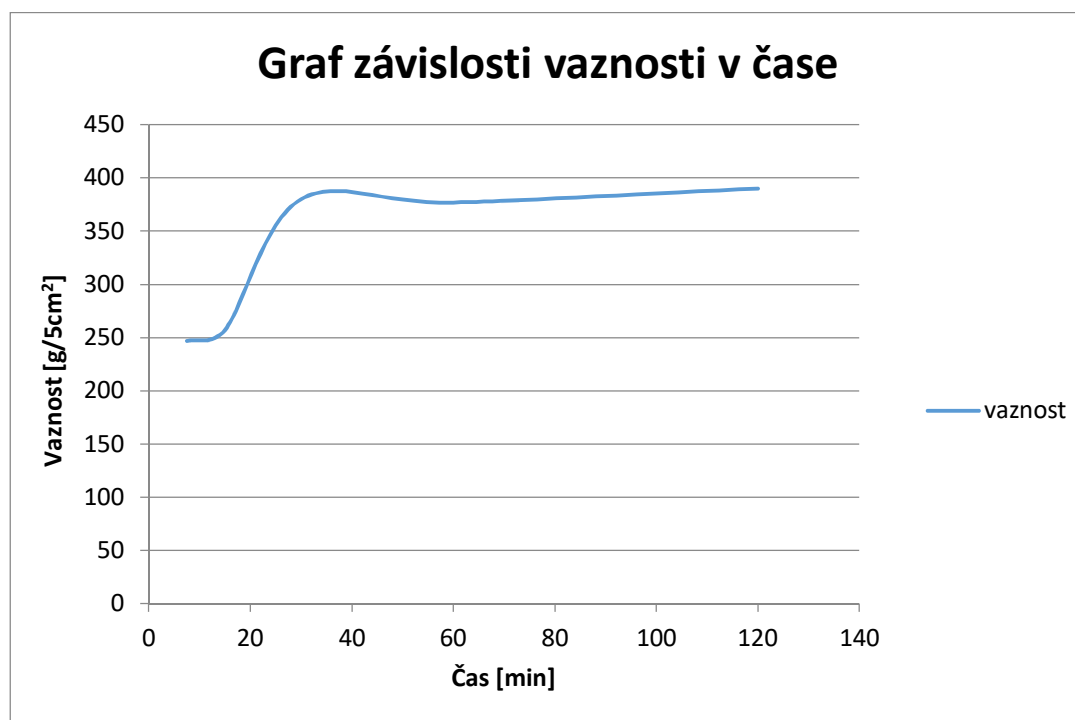
Výsledná vaznost v závislosti na čase

Čas [min]	Vaznost [g/5cm ²]
7,5	247
15	257
30	380
60	377
120	390

Tabulka 3*Časový postup měření*

	Čas [min]	Vaznost [g/5cm ²]
Začátek míchání	0	
Výroba vzorků	2:00	
Konec výroby vzorků	5:00	
Vaznost 1. vzorku	6:40	249
Vaznost 2. vzorku	7:22	203
Vaznost 3. vzorku	8:10	245
Výroba vzorků	17:00	
Konec výroby vzorků	20:00	
Vaznost 1. vzorku	22:30	247
Vaznost 2. vzorku	23:20	264
Vaznost 3. vzorku	24:20	260
Výroba vzorků	32:00	
Konec výroby vzorků	35:40	
Vaznost 1. vzorku	38:50	395
Vaznost 2. vzorku	39:55	365
Vaznost 3. vzorku	41:26	491
Výroba vzorků	62:00	
Konec výroby vzorků	65:00	
Vaznost 1. vzorku	67:00	364
Vaznost 2. vzorku	68:00	279
Vaznost 3. vzorku	69:00	390
Výroba vzorků	122:00	
Konec výroby vzorků	125:00	
Vaznost 1. vzorku	128:00	284
Vaznost 2. vzorku	129:00	370
Vaznost 3. vzorku	131:00	410

Graf 1



4.1.4. Vyhodnocení

Dle výše znázorněných výsledků lze konstatovat, že vaznost se v závislosti na čase zvyšuje. Při časové hodnotě 7,5 minuty byla naměřena hodnota 247 g/5 cm^2 , tato hodnota neodpovídá nejnižší možné hodnotě hliněné směsi pro použití na stavbě, pokud by tedy došlo k použití směsi v tento čas, výsledná omítka by neměla dostatečnou pevnost a časem by se jednodušeji degradovala.

Při měření v čase 15 minut bylo dosaženo 257 g/5 cm^2 , tato hodnota již vyhovuje použití hliněné směsi pro aplikaci na stěnu, je ale stále velmi nízká.

V čase měření 30 minut dosáhla vaznost 380 g/5 cm^2 , od tohoto času se vaznost vzorku téměř nezměnila, jelikož v čase 60 minut bylo dosaženo 377 g/5 cm^2 a v čase 120 minut 390 g/5 cm^2 . Je tedy možné konstatovat, ideální čas použití tohoto vzorku je od 30 minut od smíchání směsi.

4.1.5. Výsledky experimentu

Tento vzorek potvrdil hypotézu, která předpokládala nárůst vaznosti s časem. Tento fakt je patrný z grafu. Z grafu lze také vyčíst, že od 30 minut je vaznost téměř neměnná, lze tedy konstatovat, že od 30 minut je hliněná směs připravena na použití.



OBRÁZEK 14
Dřevěná forma ve tvaru osmičky se vzorkem I. nekomerční hliněnou omítkou pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

4.2. II. Komerční vzorek

Prvním komerčním vzorkem je čistě přírodní jemná hliněná omítka Picas série Econom určená k vnitřnímu použití. Tento vzorek se skládá z přírodní hlíny s příměsí písku a organických vláken. Zrnitost tohoto vzorku je dána technickým listem 0-1.0 mm, barva finální omítky je přírodně hnědá. Pro zpracování směsi na výrobu hliněné omítky je doporučené množství přidané vody 0,14-0,18 l/kg, pro účely této diplomové práce bylo použito množství vody, které vychází ze zkoušky plastičnosti. Další technické parametry jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 4

Technické parametry hliněné omítky Picas série Ekonom. Parametry jsou stanoveny při normálních podmínkách (18 – 22 °C) a (60 – 70 %) relativní vlhkosti.

Zrnitost	0 – 1,0 mm
Barva	přírodní hnědá
Doporučená síla jedné vrstvy	2 – 3 mm
Objem. hmotnost zatvrdlé malty	1 734 kg/m ³
Spotřeba materiálu – síla 4mm	7,5 kg/m ²
Faktor difúzního odporu	3,3 μ
Pevnost v tlaku	0,8 N/mm ²
Spotřeba vody	0,14 – 0,18 l/kg

4.2.1. Zkouška plastičnosti

Jak již bylo řečeno v předešlém odstavci, doporučené množství vody pro přípravu směsi pro hliněné omítky je 0,14-0,18 l/kg vody, množství vody se v této práci řídí zkouškou plastičnosti, v tomto případě se množství přidané vody na 1000 g suché směsi hliněné omítky vešlo do doporučených hodnot.

Při zkoušce plastičnosti bylo zjištěno, že navážený 200 g vzorek spuštěný z výšky 2 m na dřevěnou podložku, dosáhne zploštění 50 mm, při hodnotě vody 28 ml.

Z této zkoušky je tedy zřejmé, že ideální poměr surovin pro přípravu vzorků je 200 g suché směsi a 28 ml vody.

4.2.2. Zkouška vaznosti

Zkouška vaznosti byla provedena dle metodiky uvedené v knize Stavby z nepálené hlíny autorů Dr. Vlastimila Havlíčka a Ing. Karla Součka na straně 23 a 24. Citace této zkoušky je uvedena v experimentální části diplomové práce.

Pro přípravu vzorků byla převzata fakta ze zkoušky plastičnosti, kde pro smíchání ideálního vzorku vyšlo, že pro přípravu vzorků je na 200 g suché směsi potřeba 28 ml vody. Tento fakt byl modifikován na přípravu vzorků pro zkoušku vaznosti, kdy se použilo 1000 g suché hliněné směsi a 140 ml vody.

4.2.3. Výsledky zkoušky vaznosti

II. směs: hliněná omítka Picas série Econom: jemná

Datum: 26.7.20016

Teplota v laboratoři: 27,5 °C

Složení směsi: 1000g hliněné omítky, 140 ml vody

Tabulka 5

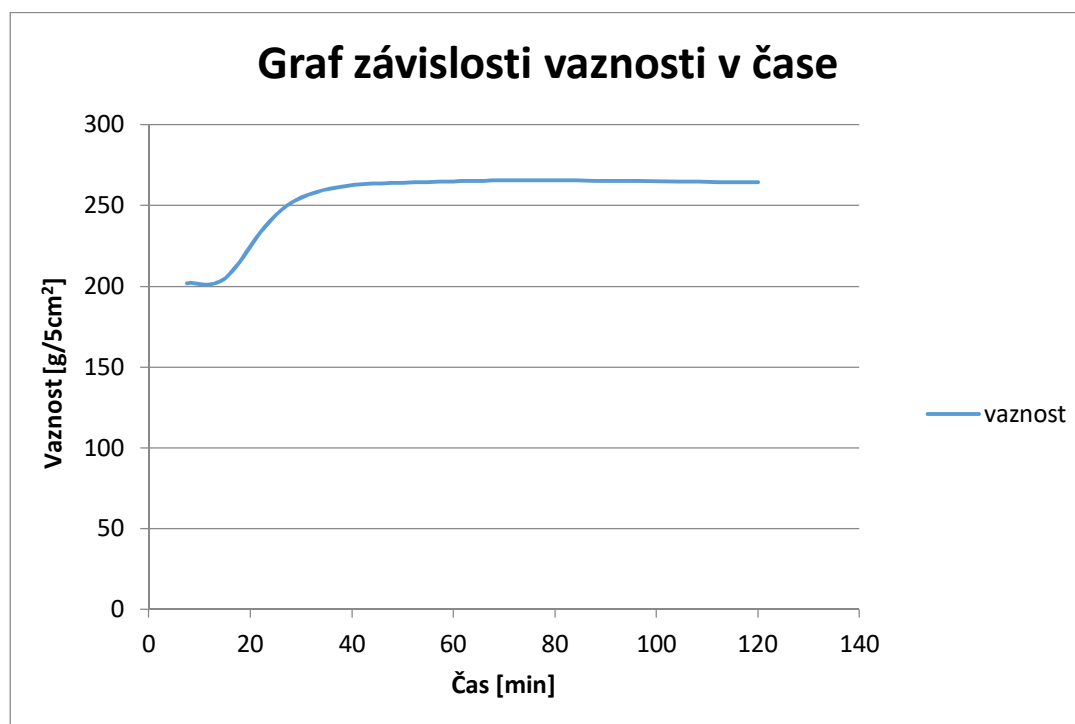
Výsledná vaznost v závislosti na čase

Čas [min]	Vaznost [g/5cm ²]
7,5	202
15	205
30	255
60	265
120	264,5

Tabulka 6*Časový postup měření*

	Čas [min]	Vaznost [g/5cm ²]
Začátek míchání	0	
Výroba vzorků	3:00	
Konec výroby vzorků	6:00	
Vaznost 1. vzorku	8:00	197
Vaznost 2. vzorku	9:00	208
Vaznost 3. vzorku	10:00	159
Výroba vzorků	17:00	
Konec výroby vzorků	23:00	
Vaznost 1. vzorku	25:00	211
Vaznost 2. vzorku	26:00	198
Vaznost 3. vzorku	27:00	239
Výroba vzorků	32:00	
Konec výroby vzorků	36:00	
Vaznost 1. vzorku	39:00	256
Vaznost 2. vzorku	40:00	263
Vaznost 3. vzorku	42:00	247
Výroba vzorků	62:00	
Konec výroby vzorků	65:00	
Vaznost 1. vzorku	67:00	248
Vaznost 2. vzorku	68:00	285
Vaznost 3. vzorku	69:00	261
Výroba vzorků	122:00	
Konec výroby vzorků	125:00	
Vaznost 1. vzorku	127:00	256
Vaznost 2. vzorku	128:00	211
Vaznost 3. vzorku	129:00	273

Graf 2



4.2.4. Vyhodnocení

Stejně tak jako u předešlého vzorku se u komerčního vzorku Picas potvrdil předpoklad, že vaznost se v závislosti na čase zvyšuje. Při časové hodnotě 7,5 minuty bylo naměřeno jen 202 g/5 cm², a stejně jako u předešlého vzorku, tato hodnota neodpovídá nejnižší možné hodnotě hliněné směsi pro použití na stavbě. Pokud by tedy došlo k použití směsi v tento čas, výsledná omítka by neměla dostatečnou pevnost a časem by se jednodušeji degradovala.

Při měření v čase 15 minut bylo dosaženo 205 g/5 cm², na této hodnotě je vidět, že ani po 15 minutách by nebylo možné použít směs ke stavebním účelům, je zde ale patrný malý nárůst vaznosti.

V čase měření 30 minut dosáhla vaznost 255 g/5 cm², hodnota vaznosti již stoupla nad 250 g/5 cm², směs je tedy použitelná ke stavebním účelům, a zároveň lze konstatovat, že k tomuto času se vaznost zvyšuje. V čase 60 minut bylo dosaženo hodnoty vaznosti 265 g/5 cm² a v čase 120 minut 264,5 g/5 cm². Uvedené hodnoty jsou téměř stejné, jedná se tedy o moment, kdy se vaznost stala téměř konstantní. Je tedy možné konstatovat, že ideálním časem použití tohoto vzorku je stejně jako u vzorku prvního od 30 minut od smíchání směsi, kdy se vaznost změnila pouze o 10 g/5 cm² od dosažení konstantní hodnoty.

4.2.5. Výsledky experimentu

Tento vzorek potvrdil hypotézu, která předpokládala nárůst vaznosti s časem. Tento fakt je patrný z grafu výše uvedeného. Z grafu lze také vyčíst, že od 30 minut je vaznost téměř neměnná, lze tedy konstatovat, že stejně jako u prvního vzorku je i tento od 30 minut připraven na použití.



OBRÁZEK 15

Dřevěná forma ve tvaru osmičky se vzorkem II. komerční hliněnou omítkou Picas pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

4.3. III. Komerční vzorek

Druhým komerčním vzorkem je jemná hliněná omítka firmy Cemix, s.r.o. Složení tohoto vzorku je přírodní hlína s kamenivem. Zrnitost tohoto vzorku je dána technickým listem 0-1.2 mm, barva finální omítky je přírodně hnědá. Doporučené množství záměsové vody pro zpracování směsi na výrobu hliněné omítky je 0,22-0,25 l/kg, pro účely této diplomové práce bylo použito množství vody, které vychází ze zkoušky plastičnosti. Další technické parametry jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tabulka 7

Technické parametry hliněné jemné omítky Cemix, s.r.o. Parametry jsou stanoveny při normálních podmínkách (20 ± 2 °C) a (65 ± 5 %) relativní vlhkosti.

Malta pro vnitřní omítku (GP) podle EN 998-1, kategorie CS I a W0			
Pevnost v tlaku (kategorie CS I)	0,4 až 2,5 MPa	Reakce na oheň	tř. A1
Přidržitost – způsob odtržení (FP)	min. 0,1 MPa (FP: B)	Objemová hmotnost zatvrdlé malty	1600-1800 kg/m ³
Kapilární absorpce vody (kategorie W0)	není předepsána	Součinitel tepelné vodivosti λ	max. 0,82 W/m.K *)
Doba zpracovatelnosti	min. 3 hod.		
*) tabulková hodnota			

INFORMATIVNÍ		
Zrnitost		0-1,2 mm
Množství záměsové vody:	na 1 kg suché směsi	0,22-0,25 l/kg
	na 1 pytel (30 kg)	6,6-7,5 l
Vydatnost		cca 1580 kg/m ³
Doporučená střední tloušťka vrstvy		2 mm
Spotřeba při doporučené vrstvě		cca 3,2 kg/m ²
Přípustná tloušťka vrstvy		max. 4 mm
Vydatnost – plocha omítnutá při doporučené vrstvě:	z jednoho pytle	cca 9,4 m ²
	z jedné tuny	cca 312 m ²
Barva		přírodní hnědá
Faktor difuzního odporu vodní páry μ		max. 8

4.3.1. Zkouška plastičnosti

Stejně jako pro předešlé vzorky i pro tento bylo množství vody pro přípravu směsi k účelu zkoušky vaznosti měřeno zkouškou plastičnosti. Doporučené množství výrobcem pro tento typ hliněné omítky je 0,22-0,25 l/kg vody. Množství záměsové vody je v tomto případě, po zkoušce plastičnosti, nižší než doporučená hodnota přidané vody na 1000 g suché směsi hliněné omítky.

Při zkoušce plastičnosti bylo zjištěno, že navážený 200 g vzorek spuštěný z výšky 2 m na dřevěnou podložku, dosáhne zploštění 50 mm, při hodnotě vody 36 ml.

Z této zkoušky je tedy zřejmé, že ideální poměr surovin pro přípravu vzorků je 200 g suché směsi a 36 ml vody.

4.3.2. Zkouška vaznosti

Zkouška vaznosti byla i zde provedena dle metodiky uvedené v knize Stavby z nepálené hlíny autorů Dr. Vlastimila Havlíčka a Ing. Karla Součka na straně 23 a 24. Citace této zkoušky je uvedena v experimentální části diplomové práce.

Pro přípravu vzorků byla převzata fakta ze zkoušky plastičnosti, kde pro smíchání ideálního vzorku vyšlo, že pro přípravu vzorků je na 200 g suché směsi potřeba 36 ml vody. Tento fakt byl modifikován na přípravu vzorků pro zkoušku vaznosti, kdy se použilo 1000 g suché hliněné směsi a 180 ml vody.

4.3.3. Výsledky zkoušky vaznosti

III. směs: hliněná omítka jemná Cemix

Datum: 26.7.20016

Teplota v laboratoři: 27,5 °C

Složení směsi: 1000 g hliněné omítky, 180 ml vody

Tabulka 8

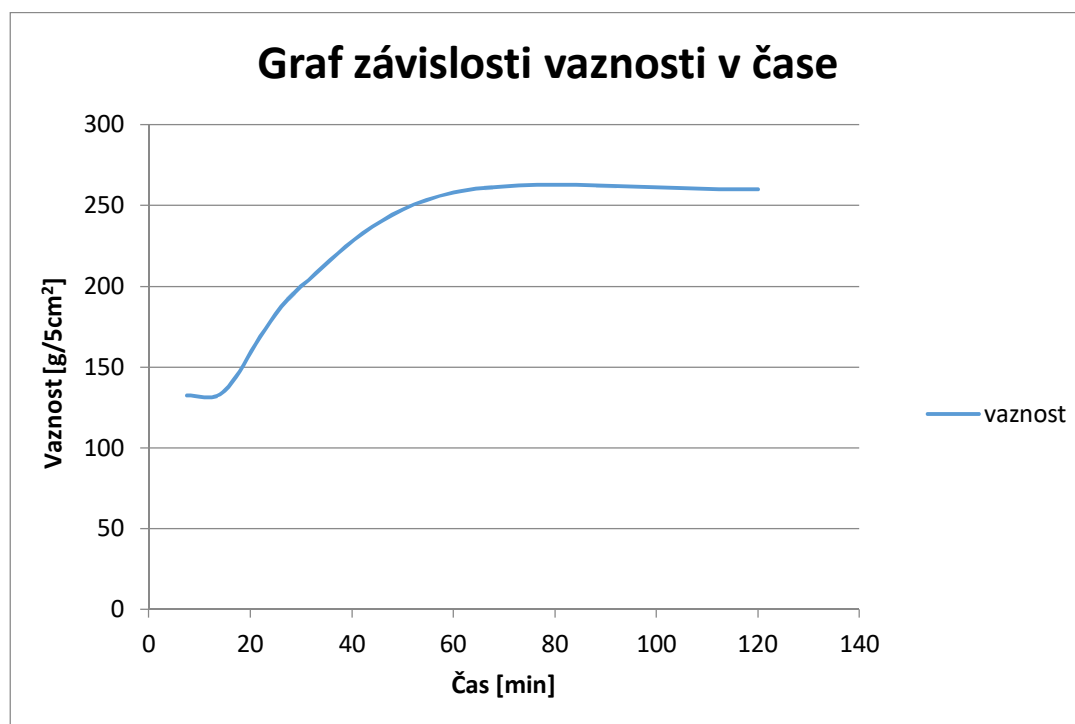
Výsledná vaznost v závislosti na čase

Čas [min]	Vaznost [g/5cm ²]
7,5	132,5
15	135,5
30	200
60	258
120	260

Tabulka 9*Časový postup měření*

	Čas [min]	Vaznost [g/5cm ²]
Začátek míchání	0	
Výroba vzorků	3:00	
Konec výroby vzorků	5:00	
Vaznost 1. vzorku	7:00	128
Vaznost 2. vzorku	8:00	98
Vaznost 3. vzorku	9:00	137
Výroba vzorků	17:00	
Konec výroby vzorků	23:00	
Vaznost 1. vzorku	25:00	56
Vaznost 2. vzorku	26:00	143
Vaznost 3. vzorku	27:00	128
Výroba vzorků	32:00	
Konec výroby vzorků	36:00	
Vaznost 1. vzorku	39:00	196
Vaznost 2. vzorku	40:00	201
Vaznost 3. vzorku	42:00	203
Výroba vzorků	62:00	
Konec výroby vzorků	65:00	
Vaznost 1. vzorku	67:00	248
Vaznost 2. vzorku	68:00	269
Vaznost 3. vzorku	69:00	257
Výroba vzorků	122:00	
Konec výroby vzorků	125:00	
Vaznost 1. vzorku	127:00	232
Vaznost 2. vzorku	128:00	274
Vaznost 3. vzorku	129:00	246

Graf 3



4.3.4. Vyhodnocení

U posledního vzorku lze pozorovat zvýšení hodnot vaznosti v čase, lze konstatovat, že i zde byla potvrzena hypotéza. Při časové hodnotě 7,5 minuty byla naměřena hodnota $132,5 \text{ g/5 cm}^2$, tato hodnota je hodně pod limit nejnižší možné hodnotě vaznosti pro použití na stavbě, pokud by tedy došlo k použití směsi v tento čas, výsledná omítka by neměla dostatečnou pevnost a časem by se jednodušeji degradovala. Pro účely diplomové práce nižší hodnoty vaznosti nevadí.

Při měření v čase 15 minut bylo dosaženo $135,5 \text{ g/5 cm}^2$, i tato hodnota je velmi nízká, ale již po 15 minutách je patrné malé zvýšení vaznosti.

V čase měření 30 minut dosáhla vaznost 200 g/5 cm^2 , od předchozího času došlo k velkému zvýšení vaznosti, stále je ale hodnota vaznosti velmi nízká pro stavební účely. V čase 60 minut byla překročena minimální hodnota vaznosti pro použití hliněné omítky pro stavební účely, bylo naměřeno 258 g/5 cm^2 . V čase 120 minut bylo naměřeno 260 g/5 cm^2 , zvýšení od měření v 60 minutách je zde nepatrné. Je tedy možné konstatovat, že ideálním časem použití tohoto vzorku je od 60 minut od smíchání směsi.

4.3.5. Výsledky experimentu

I třetí vzorek potvrdil hypotézu, která předpokládala nárůst vaznosti s časem. Tento fakt je vidět z grafu, z kterého je patrné, že od 60 minut je vaznost téměř neměnná, lze tedy konstatovat, že od 60 minut je hliněná směs připravena na použití.



OBRÁZEK 16

Dřevěná forma ve tvaru osmičky se vzorkem III. komerční hliněnou omítkou Cemix pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

4.4. Zhodnocení

Hypotéza této diplomové části byla zvyšující se vaznost nepálené hlíny v čase. Ověření této hypotézy proběhlo na třech výše uvedených vzorcích. Ve všech třech případech došlo ke zvýšení vaznosti s přibývajícimi minutami.

Cílem této práce bylo nalezení nejvhodnějšího času pro použití hliněné omítky, respektive, nalezení času, kdy vaznost hliněné směsi bude vyšší než minimální vaznost pro použití směsi na stavbu a zároveň se stane konstantní. U prvních dvou vzorků byl tento čas 30 minut od smíchání surovin, u posledního vzorku 60 minut. Lze tedy konstatovat, že hliněnou směs lze použít nejdříve půl hodiny od smíchání.



OBRÁZEK 17

Ukázka vzorků v suchém stavu a ve směsi s vodou – zleva: vzorky komerční Cemix, Picas, nekomerční vzorek (archiv autora)

5. Verifikace výsledků v Mexiku (nad rámec původního zadání)

Po provedení experimentálního výzkumu v České republice, byla autorka studovat na jeden semestr v Mexiku, kde proběhlo další testování vaznosti nepálené hlíny v čase.

Stejně jako u výzkumu provedeného v České republice, i na vzorcích z Mexika byla nejdříve provedena zkouška plastičnosti, aby se zjistilo, kolik je potřeba přidat vody do suché směsi nepálené hlíny. Po zkoušce plastičnosti proběhla samotná zkouška vaznosti a následné vyhodnocení výsledků.

Hypotéza i cíl výzkumu v Mexiku jsou identické s výzkumem v České republice, dalších části této přílohy se budou tedy zabývat výběrem a popisem vzorků a samotnými výsledky výzkumu.

5.1. Určení zkušebních vzorků

Na základě předchozích zkušeností bylo určeno, že i pro výzkum v Mexiku bude zapotřebí tří vzorků. Dva budou komerční a jeden nekomerční.

Vzhledem k tomu, že Mexiko je jednou ze zemí, kde se se stavbami z nepálené hlíny můžete setkat na každém kroku, nebyl nekomerční vzorek problém. Nekomerčním vzorkem se stala hlína z města Puebla z části Cholula.

Komerční vzorky poskytla mexická firma Tecno Adobe. První komerční vzorek je z distriktu Puebla a druhý z distriktu Federal.

5.2. Výsledky výzkumu a vývoje vaznosti na vzorcích z Mexika

Zpracování výsledků proběhlo postupem, který je uveden v diplomové práci v části experimentální. Celý výzkum byl proveden autorkou diplomové práce za použití pomůcek z univerzity Tec de Monterrey. Výzkum byl proveden ve venkovních prostorách kampusu Puebla univerzity Tec de Monterrey. Podmínky výzkumu byly mírně omezené, tento fakt však neměl na výsledné měření zásadní vliv. I díky tomu bylo, a je možné, konstatovat, že tyto zkoušky lze provést s minimem vybavení téměř kdekoliv.

V následující kapitole jsou sepsány výsledky jednotlivých měření. Originální zápisy byly provedeny autorkou diplomové práce v den laboratorních testů ručně, v této práci jsou uvedeny přepisy těchto dokumentů.

Každá podkapitola se věnuje jednomu ze vzorků. U každého vzorku byla nejdříve provedena zkouška plastičnosti, díky které se zjistil přesný poměr suché hliněné směsi a vody. Dalším krokem bylo provedení zkoušky vaznosti. Výsledná vaznost byla v jednotlivých časech z prvotních měření zprůměrována a následně byla později zanesena spolu s časovým údajem do grafu.

5.2.1. Nekomerční vzorek

Prvním vzorkem pro posouzení závislosti vaznosti na čase, byla nekomerční suchá směs, která byla získána v mexickém městě Puebla de Zaragoza, konkrétně v části města zvaném Cholula. V následující kapitole budou popsány naměřené výsledky vztahující se k tomuto vzorku.

5.2.1.1. Zkouška plastičnosti

Při zkoušce plastičnosti bylo zjištěno, že navážený 200 g vzorek spuštěný z výšky 2 m na dřevěnou podložku, dosáhne zploštění 50 mm, při hodnotě vody 32 ml.

Z této zkoušky je tedy zřejmé, že ideální poměr surovin pro přípravu vzorků je 200 g suché směsi a 32 ml vody.

5.2.1.2. Zkouška vaznosti

Zkouška vaznosti byla provedena dle metodiky uvedené v knize Stavby z nepálené hlíny autorů Dr. Vlastimila Havlíčka a Ing. Karla Součka na straně 23 a 24. Citace této zkoušky je uvedena v experimentální části diplomové práce.

Pro přípravu vzorků byla převzata fakta ze zkoušky plastičnosti, kde pro smíchání ideálního vzorku vyšlo, že pro přípravu vzorků je na 200 g suché směsi potřeba 32 ml vody. Tento fakt byl modifikován na přípravu vzorků pro zkoušku vaznosti, kdy se použilo 1000 g suché hliněné směsi a 160 ml vody.

5.2.1.3. Výsledky zkoušky vaznosti

I. směs: nekomerční směs

Datum: 30.8.20016

Teplota při výzkumu: 26 °C

Složení směsi: 1000g hliněné omítky, 160 ml vody

Tabulka 10

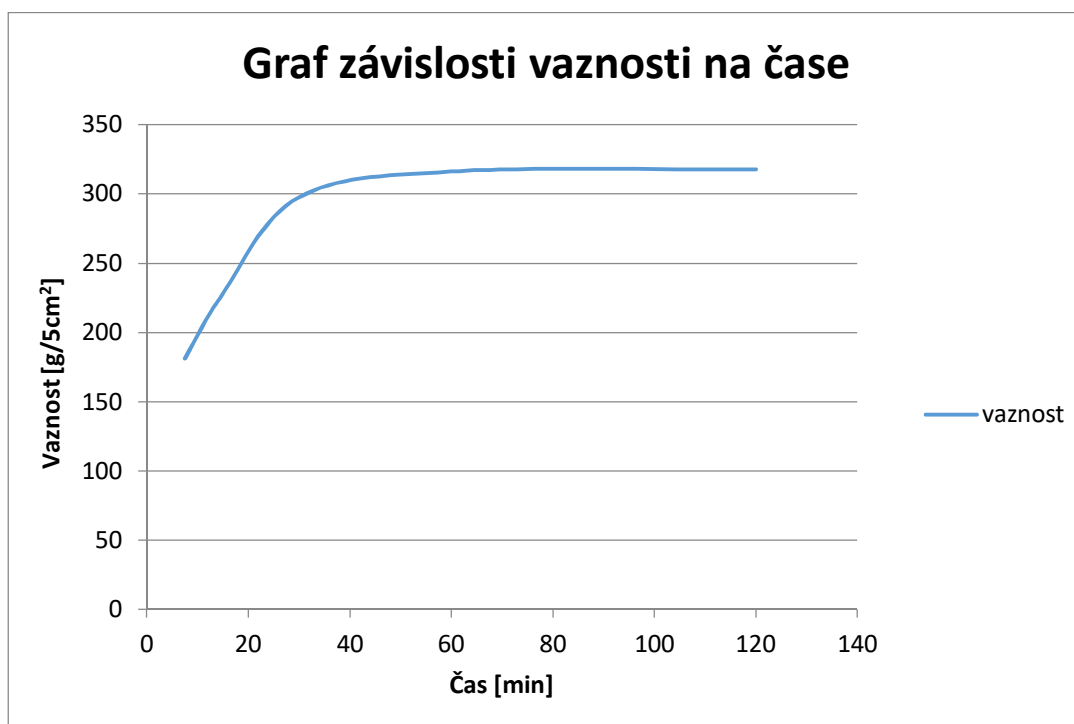
Výsledná vaznost v závislosti na čase

Čas [min]	Vaznost [g/5cm ²]
7,5	181,3
15	228,3
30	297,7
60	316,3
120	318

Tabulka 11*Časový postup měření*

	Čas [min]	Vaznost [g/5cm ²]
Začátek míchání	0	
Výroba vzorků	2:00	
Konec výroby vzorků	5:00	
Vaznost 1. vzorku	6:40	172
Vaznost 2. vzorku	7:22	192
Vaznost 3. vzorku	8:10	180
Výroba vzorků	17:00	
Konec výroby vzorků	20:00	
Vaznost 1. vzorku	22:30	230
Vaznost 2. vzorku	23:20	237
Vaznost 3. vzorku	24:20	218
Výroba vzorků	32:00	
Konec výroby vzorků	35:40	
Vaznost 1. vzorku	38:50	280
Vaznost 2. vzorku	39:55	315
Vaznost 3. vzorku	41:26	298
Výroba vzorků	62:00	
Konec výroby vzorků	65:00	
Vaznost 1. vzorku	67:00	320
Vaznost 2. vzorku	68:00	308
Vaznost 3. vzorku	69:00	321
Výroba vzorků	122:00	
Konec výroby vzorků	125:00	
Vaznost 1. vzorku	128:00	320
Vaznost 2. vzorku	129:00	318
Vaznost 3. vzorku	131:00	316

Graf 4



5.2.1.4. Vyhodnocení

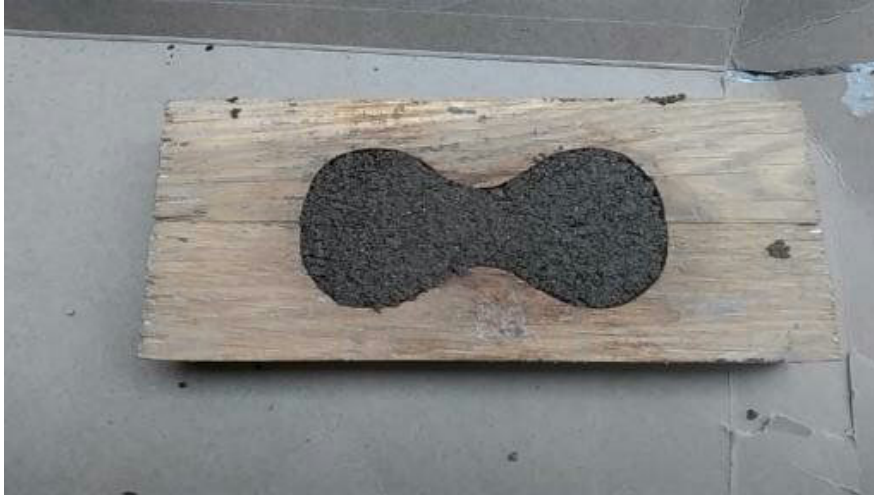
Dle výše znázorněných výsledků lze konstatovat, že vaznost se v závislosti na čase zvyšuje. Při časové hodnotě 7,5 minuty byla naměřena hodnota 181,3 g/5 cm², tato hodnota neodpovídá nejnižší možné hodnotě hliněné směsi pro použití na stavbě, pokud by tedy došlo k použití směsi v tento čas, výsledná omítka by neměla dostatečnou pevnost a časem by se jednodušeji degradovala.

Při měření v čase 15 minut bylo dosaženo 228,3 g/5 cm², tato hodnota stále nevyhovuje použití hliněné směsi pro stavební účely.

V čase měření 30 minut dosáhla vaznost 297,7 g/5 cm², v tomto čase by již směs byla vhodná pro použití na stavební účely. V čase 60 minut bylo dosaženo 316,3 g/5 cm², oproti vaznosti ve 30 minutách se vaznost v 60 minutách změnila pouze o 20 /5 cm² a v čase 120 minut dosáhla 318 g/5 cm². Je tedy možné konstatovat, že ideálním časem této směsi pro použití a zároveň časem, kdy se vaznost stává téměř konstantní je v 60. minutě od smíchání vzorku.

5.2.1.5. Výsledky experimentu

Tento vzorek potvrdil hypotézu, která předpokládala nárůst vaznosti s časem, tento fakt lze pozorovat i z výše uvedeného grafu. Z grafu lze také vyčíst, že zhruba od 40 minut je vaznost téměř neměnná, lze tedy konstatovat, že od 40 minut je hliněná směs připravena na použití.



OBRÁZEK 18

Dřevěná forma ve tvaru osmičky se vzorkem I. nekomerční hliněnou směsí pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

5.2.2. II. Komerční vzorek

Prvním komerčním vzorkem je čistě přírodní hliněná směs věnovaná mexickou firmou Tecno Adobe. Tato směs má dle výrobce celou škálu využití, používají ji ale především k výrobě nepálených cihel. Tento vzorek se skládá z přírodní hlíny s příměsí písku. Každá směs je vyrobena ve firmě na místě jako originál, neexistuje zde žádný předpis, který by určoval přesnou zrnitost nebo přesné množství vody, které se musí do suché směsi přidat, aby vznikla správná konzistence směsi pro stavební účely.

5.2.2.1. Zkouška plastičnosti

Stejně tak jako u předešlého vzorku i u komerčního vzorku proběhla zkouška plastičnosti, aby bylo možné určit množství vody, které je potřeba přidat do suché směsi.

Při zkoušce plastičnosti bylo zjištěno, že navážený 200 g vzorek spuštěný z výšky 2 m na dřevěnou podložku, dosáhne zploštění 50 mm, při hodnotě vody 22 ml.

Z této zkoušky je tedy zřejmé, že ideální poměr surovin pro přípravu vzorků je 200 g suché směsi a 22 ml vody.

5.2.2.2. Zkouška vaznosti

Zkouška vaznosti byla provedena dle metodiky uvedené v knize Stavby z nepálené hlíny autorů Dr. Vlastimila Havlíčka a Ing. Karla Součka na straně 23 a 24. Citace této zkoušky je uvedena v experimentální části diplomové práce.

Pro přípravu vzorků byla převzata fakta ze zkoušky plastičnosti, kde pro smíchání ideálního vzorku vyšlo, že pro přípravu vzorků je na 200 g suché směsi potřeba 22 ml vody. Tento fakt byl modifikován na přípravu vzorků pro zkoušku vaznosti, kdy se použilo 1000 g suché hliněné směsi a 110 ml vody.

5.2.2.3. Výsledky zkoušky vaznosti

II. směs: hliněná směs věnována firmou Tecno Adobe

Datum: 31.8.20016

Teplota při výzkumu: 27 °C

Složení směsi: 1000g hliněné omítky, 110 ml vody

Tabulka 12

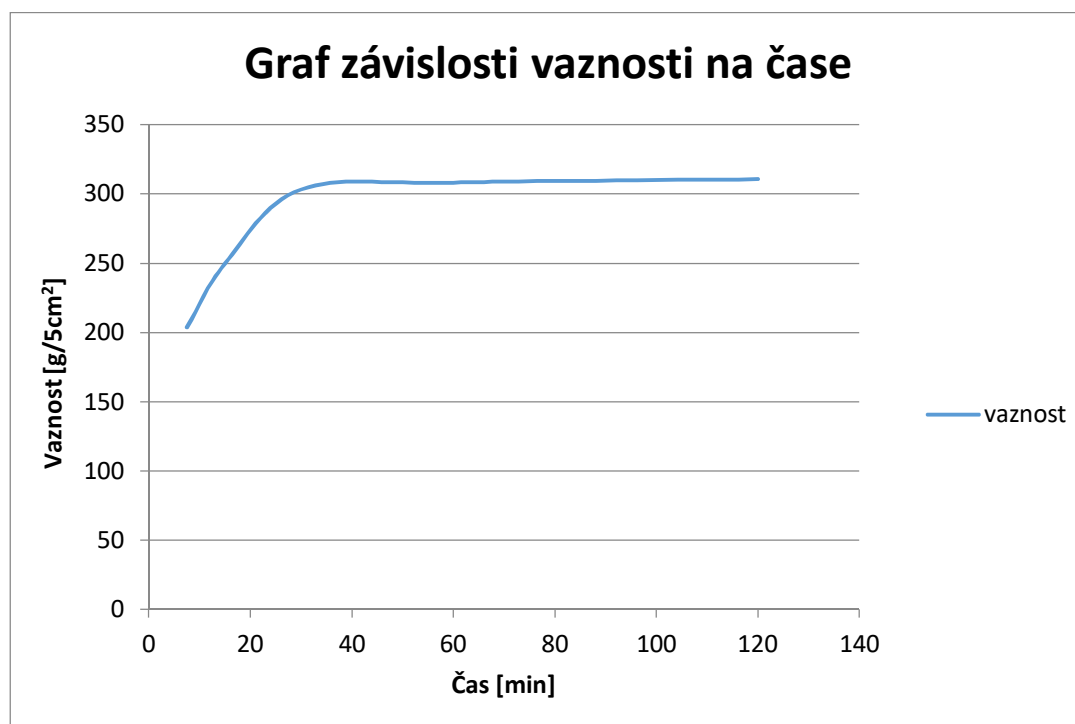
Výsledná vaznost v závislosti na čase

Čas [min]	Vaznost [g/5cm ²]
7,5	216,3
15	247
30	274,3
60	276
120	275,3

Tabulka 13*Časový postup měření*

	Čas [min]	Vaznost [g/5cm ²]
Začátek míchání	0	
Výroba vzorků	3:00	
Konec výroby vzorků	6:00	
Vaznost 1. vzorku	8:00	210
Vaznost 2. vzorku	9:00	209
Vaznost 3. vzorku	10:00	230
Výroba vzorků	17:00	
Konec výroby vzorků	23:00	
Vaznost 1. vzorku	25:00	256
Vaznost 2. vzorku	26:00	241
Vaznost 3. vzorku	27:00	244
Výroba vzorků	32:00	
Konec výroby vzorků	36:00	
Vaznost 1. vzorku	39:00	277
Vaznost 2. vzorku	40:00	281
Vaznost 3. vzorku	42:00	265
Výroba vzorků	62:00	
Konec výroby vzorků	65:00	
Vaznost 1. vzorku	67:00	263
Vaznost 2. vzorku	68:00	283
Vaznost 3. vzorku	69:00	282
Výroba vzorků	122:00	
Konec výroby vzorků	125:00	
Vaznost 1. vzorku	127:00	271
Vaznost 2. vzorku	128:00	288
Vaznost 3. vzorku	129:00	267

Graf 5



5.2.2.4. Vyhodnocení

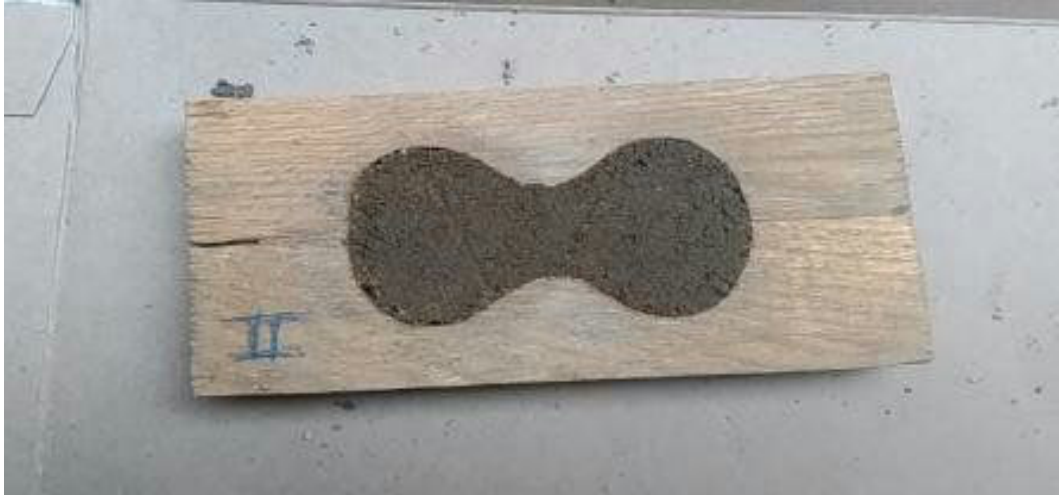
Stejně tak jako u nekomerčního vzorku se u tohoto vzorku potvrdil předpoklad, že vaznost se v závislosti na čase zvyšuje. Při časové hodnotě 7,5 minuty bylo naměřeno jen 216,3 $\text{g}/5\text{ cm}^2$, a stejně jako u předešlého vzorku, tato hodnota neodpovídá nejnižší možné hodnotě hliněné směsi pro použití na stavbě. Pokud by tedy došlo k použití směsi v tento čas, výsledný produkt by neměl dostatečnou pevnost a časem by se jednodušeji degradoval.

Při měření v čase 15 minut bylo dosaženo 247 $\text{g}/5\text{ cm}^2$, ani tato hodnota prozatím nevyhovuje minimální vaznosti pro stavební využití.

V čase měření 30 minut dosáhla vaznost 274,3 $\text{g}/5\text{ cm}^2$, hodnota vaznosti již stoupla nad 250 $\text{g}/5\text{ cm}^2$, směs je tedy použitelná ke stavebním účelům, a zároveň lze konstatovat, že k tomuto času se vaznost stále zvyšuje. V čase 60 minut bylo dosaženo hodnoty vaznosti 276 $\text{g}/5\text{ cm}^2$ a v čase 120 minut 275,3 $\text{g}/5\text{ cm}^2$. Uvedené hodnoty jsou téměř stejné, jedná se tedy o moment, kdy se vaznost stala téměř konstantní. Je tedy možné konstatovat, že ideálním časem použití tohoto vzorku je u tohoto komerčního vzorku od 30 minut od doby smíchání směsi.

5.2.2.5. Výsledky experimentu

Tento vzorek potvrdil hypotézu, která předpokládala nárůst vaznosti s časem. Tento fakt je patrný z výše uvedeného grafu. Z grafu lze také vyčíst, že od 30 minut je vaznost téměř neměnná, lze tedy konstatovat, že tento vzorek lze od 30 minut použít pro stavební účely.



OBRÁZEK 19

Dřevěná forma ve tvaru osmičky se vzorkem II. komerční hliněnou směsí věnovanou firmou Tecno Adobe pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

5.2.3. III. Komerční vzorek

Druhým komerčním vzorkem je jemná hliněná směs také od firmy Tecno Adobe. Tento vzorek však pochází z jiného naleziště. Byl natěžen v distriktu Federal. Struktura tohoto vzorku je o něco hrubší než u vzorku předešlého. Dále se liší složením. Vzorek obsahuje hlinu, písek a nejemno nasekaná organická vlákna. Stejně jako u předešlého vzorku ani u tohoto nejsou dány žádné parametry. Množství vody pro vytvoření směsi k tvorbě vzorků pro měření vaznosti, se určuje z testu plastičnosti.

5.2.3.1. Zkouška plastičnosti

Stejně jako pro předešlé vzorky i pro tento bylo množství vody pro přípravu směsi k účelu zkoušky vaznosti měřeno zkouškou plastičnosti.

Při zkoušce plastičnosti bylo zjištěno, že navážený 200 g vzorek spuštěný z výšky 2 m na dřevěnou podložku, dosáhne zploštění 50 mm, při hodnotě vody 28 ml.

Z této zkoušky je tedy zřejmé, že ideální poměr surovin pro přípravu vzorků je 200 g suché směsi a 28 ml vody.

5.2.3.2. Zkouška vaznosti

Zkouška vaznosti byla i zde provedena dle metodiky uvedené v knize Stavby z nepálené hlíny autorů Dr. Vlastimila Havlíčka a Ing. Karla Součka na straně 23 a 24. Citace této zkoušky je uvedena v experimentální části diplomové práce.

Pro přípravu vzorků byla převzata fakta ze zkoušky plastičnosti, kde pro smíchání ideálního vzorku vyšlo, že pro přípravu vzorků je na 200 g suché směsi potřeba 36 ml vody. Tento fakt byl modifikován na přípravu vzorků pro zkoušku vaznosti, kdy se použilo 1000 g suché hliněné směsi a 140 ml vody.

5.2.3.3. Výsledky zkoušky vaznosti

III. směs: hliněná směs věnována firmou Tecno Adobe

Datum: 1.9.20016

Teplota při výzkumu: 23 °C

Složení směsi: 1000 g hliněné omítky, 140 ml vody

Tabulka 14

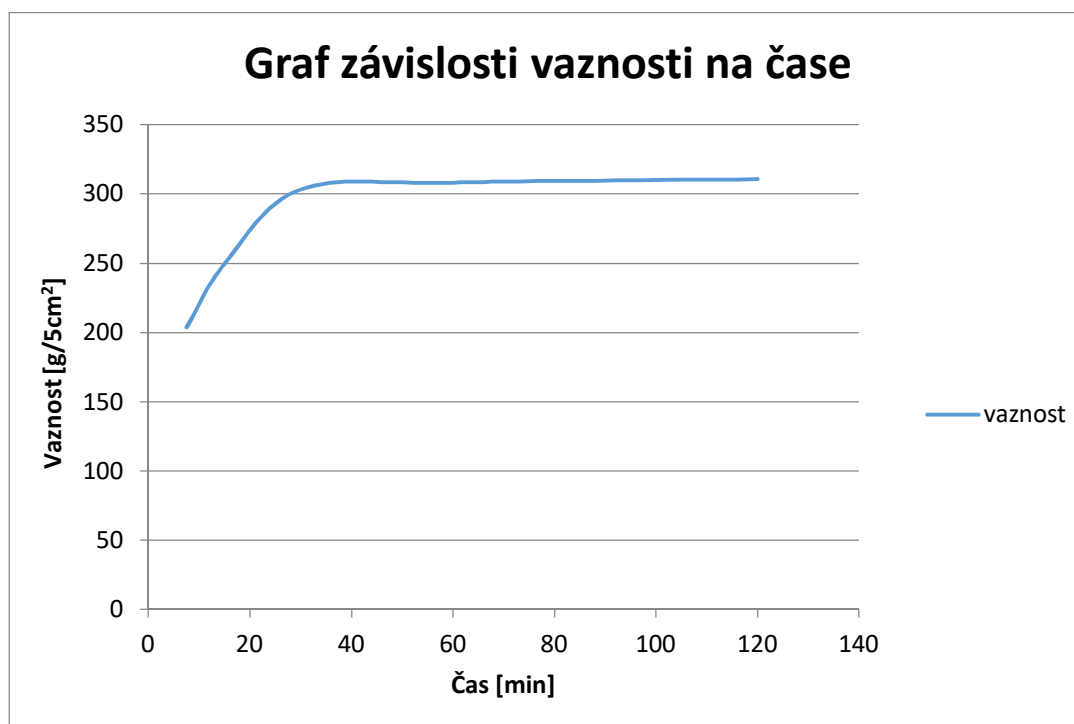
Výsledná vaznost v závislosti na čase

Čas [min]	Vaznost [g/5cm ²]
7,5	203,7
15	249,7
30	303,3
60	308,3
120	310,7

Tabulka 15*Časový postup měření*

	Čas [min]	Vaznost [g/5cm ²]
Začátek míchání	0	
Výroba vzorků	3:00	
Konec výroby vzorků	5:00	
Vaznost 1. vzorku	7:00	197
Vaznost 2. vzorku	8:00	205
Vaznost 3. vzorku	9:00	209
Výroba vzorků	17:00	
Konec výroby vzorků	23:00	
Vaznost 1. vzorku	25:00	257
Vaznost 2. vzorku	26:00	252
Vaznost 3. vzorku	27:00	240
Výroba vzorků	32:00	
Konec výroby vzorků	36:00	
Vaznost 1. vzorku	39:00	302
Vaznost 2. vzorku	40:00	294
Vaznost 3. vzorku	42:00	314
Výroba vzorků	62:00	
Konec výroby vzorků	65:00	
Vaznost 1. vzorku	67:00	287
Vaznost 2. vzorku	68:00	320
Vaznost 3. vzorku	69:00	318
Výroba vzorků	122:00	
Konec výroby vzorků	125:00	
Vaznost 1. vzorku	127:00	301
Vaznost 2. vzorku	128:00	318
Vaznost 3. vzorku	129:00	313

Graf 6



5.2.3.4. Vyhodnocení

I u posledního vzorku lze pozorovat zvýšení hodnot vaznosti v čase, lze tedy konstatovat, že i zde byla potvrzena hypotéza. Při časové hodnotě 7,5 minuty byla naměřena hodnota 203,7 g/5 cm², tato hodnota je zatím pod limitem nejnižší možné hodnotě vaznosti pro použití na stavbě, pokud by tedy došlo k použití směsi v tento čas, výsledná směs by neměla při využití na stavbě dostatečnou pevnost a časem by se jednodušeji degradovala. Pro účely diplomové práce nižší hodnoty vaznosti nevaří.

Hodnota v čase 15 minut byla 249,7 g/5 cm², tato hodnota je jen nepatrně menší než hodnota minimální vaznosti pro použití směsi na pro stavební účely. V čase měření 30 minut dosáhla vaznost 303,3 g/5 cm², od předchozího času došlo k velkému zvýšení vaznosti. Hodnota vaznosti ve 30 minutách je dále vyhovující k použití pro stavební účely, jelikož překročila minimální hodnotu vaznosti 250 g/5 cm². V čase 60 bylo naměřeno 308,3 g/5 cm². V čase 120 minut bylo naměřeno 310,7g/5 cm², zvýšení od měření ve 30 minutách je zde nepatrné. Je tedy možné konstatovat, že ideálním časem použití tohoto vzorku je od 30 minut od smíchání směsi.

5.2.4. Výsledky experimentu

I třetí vzorek potvrdil hypotézu, která předpokládala nárůst vaznosti s časem. Tento fakt je vidět z grafu, z kterého je patrné, že od 30 minut je vaznost téměř neměnná, lze tedy konstatovat, že od 30 minut je hliněná směs připravena na použití.



OBRÁZEK 20

Dřevěná forma ve tvaru osmičky se vzorkem III. komerční hliněnou směsí věnovanou firmou Tecno Adobe pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

5.2.5. Zhodnocení

Hypotéza diplomové práce byla potvrzena i pro výzkum provedený v Mexiku. U všech třech vzorků se vaznost nepálené hlíny v čase zvýšila a od určitého času se stala konstantní. Tento čas se u jednotlivých vzorků liší.

Cíl diplomové práce, tedy nalezení nejvhodnějšího času pro použití hliněné omítky, byl nalezen u všech třech vzorků. U prvního vzorku byl tento čas 40 minut od smíchání surovin, u druhého vzorku 30 minut a u posledního také od 30 minut. Lze tedy konstatovat, že hliněnou směs lze použít nejdříve půl hodiny od smíchání.

V porovnání s českými vzorky hliněné směsi nepotřebují tolik vody a při překročení minimální vaznosti si mexické vzorky vedly lépe.



OBRÁZEK 21

Ukázka vzorků v suchém stavu a ve směsi s vodou – zleva: vzorek nekomerční; vzorky komerční poskytnuté firmou Tecno Adobe (archiv autora)

6. Doporučení pro další postup

Dalším směrem výzkumu v tomto specifickém odvětví je vyřešení otázky, jakým způsobem ovlivňuje vaznost prostředí, které má na dobu ustálení vaznosti vliv. Je potřeba ověřit vliv nejen teploty okolí, ale i ovlivnění okolní vlhkostí, například vnitrozemní a přímořské oblasti mají velmi rozdílnou vlhkost vzduchu. Rozdílná je pak i vlhkost vstupních surovin, která výrobu nepálených produktů i vaznosti může ovlivnit.

Dále bude potřeba vyzkoumat, jak je ovlivněna vaznost v čase přidáváním různorodých přísad a příměsí a jakým způsobem by bylo možné dobu ustálení vaznosti urychlit nebo naopak zpomalit.

V této oblasti je stále mnoho otázek, které je třeba vyřešit, základním úkolem je zefektivnění výroby nepálených stavebních prvků.

7. Závěr

Výzkum provedený na hliněných vzorcích prokázal, že vaznost nepálené hlíny se v čase zvyšuje. Tento fakt byl potvrzen na třech vzorcích hliněných omítek, kdy první vzorek byl z nekomerční sféry a zbývající dva vzorky z komerční sféry. Výzkum tedy potvrdil první stanovený cíl této diplomové práce, zabývající se zvýšením vaznosti nepálené hlíny v čase. První cíl byl potvrzen v kapitolách 4.1.3., 4.2.3. a 4.3.3., kde se nacházejí výsledky zkoušky vaznosti.

Jak již bylo zmíněno, vaznost se v čase zvyšuje, v určitém čase se vaznost přestane výrazně zvyšovat a stane se téměř konstantní. To potvrzují kapitoly 4.1.3., 4.2.3. a 4.3.3. Výsledky zkoušky vaznosti. V těchto kapitolách byl potvrzen druhý stanovený cíl zabývající se nalezením času, kdy bude vaznost nepálené hlíny téměř konstantní. K dosažení tohoto času vaznosti došlo u použitých vzorků mezi časy 30 – 60 minut od smíchání směsi určené pro vytvoření vzorků.

Lze tedy konstatovat, že v praxi by se měla směs pro hliněné výrobky po smíchání nechat dozrát, aby se dosáhlo co možná nejvyšší vaznosti, a tím se docílilo i lepších konečných vlastností daného stavebního prvku.

Oba cíle byly také potvrzeny při provedení verifikace výsledků v Mexiku. Cíle byly potvrzeny v kapitolách 5.2.1.3., 5.2.2.3. a 5.2.3.3., kde se nachází výsledky zkoušek vaznosti provedené v Mexiku.

8. Použitá literatura

8.1. Publikace

- [1] HAVLÍČEK, Vladimír – SOUČEK, Karel. Stavby z nepálené hlíny. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1958. 98 stran. ISBN nemá.
- [2] MINKE, Gernot. Building With Earth. Berlin: Birkhäuser, 2006. 208 stran. ISBN: 978-3-7643-7873-8.
- [3] SUSKE, Petr. Hlinené domy novej generácie. Bratislava: Alfa, 1991. 159 stran. ISBN 8005008945, 9788005008948.
- [4] ŽABIČKOVÁ, Ivana. Hliněné stavby. Brno: ERA, 2002. 174 stran. ISBN 8086517217, 9788086517216.
- [5] CHYBÍK, Josef. Přírodní stavební materiály. Praha: Granada Publishing, 2009. 272 stran. ISBN 978-80-247-9114-2.
- [6] PROCHÁZKA, Michal. Venkovní hliněné omítky. In: Zdravé domy 2009. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta architektury, 2009. str. 125-129. ISBN 9788021438859.

8.2. Jiné zdroje

- [7] cs.wikipedia.org
- [8] www.hlina.info/cs/hlinene-stavitelstvi/hlina-stavebni-material/tradicni-technologie.html
- [9] www.hlinenydum.cz/wiki/historie-hlinenych-staveb/
- [10] www.hlinaproductum.cz/news/tradicni-hlinene-omitky-a-stavebni-prvky/
- [11] www.picas.cz/hlinene-stavby-a-hlina/
- [12] www.honeychop.com/wp-content/uploads/2015/09/Oat-Straw.png
- [13] www.createrra.sk/page/40/hlinene-povrchy.html
- [14] pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/htmldocs/clays/kaogr.htm
- [15] www.ecvv.com/product/2853043.html

9. Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 Ruiny starobylé pyramidy Huaca Pucllana, Lima, Peru (archiv autora)

OBRÁZEK 2 Sluneční pyramida v Teotihuacánu, Mexiko (archiv autora)

OBRÁZEK 3 Popis struktury kaolinitu⁴

OBRÁZEK 4 Skelná vlákna⁷

OBRÁZEK 5 Slaměná řezanka¹²

OBRÁZEK 6 Graf sorpčních vlastností stavebních materiálů při teplotě 21 °C a vzestupu relativní vlhkosti z 50% na 80%²

OBRÁZEK 7 Graf vztahu pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu⁵

OBRÁZEK 8 Prošlapávání hlíny, Spišské Podhradice⁵

OBRÁZEK 9 Sušení hliněných cihel pomocí slunečního záření, Puebla, Mexiko (archiv autora)

OBRÁZEK 10 Dekorace pomocí vtačování kamínků, Tepoztlan, Mexiko (archiv autora)

OBRÁZEK 11 Hliněná podlaha¹³

OBRÁZEK 12 Přístroj na zkoušku vaznosti s automatickým uzávěrem¹

OBRÁZEK 13 Dřevěná forma ve tvaru osmičky pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

OBRÁZEK 14 Dřevěná forma ve tvaru osmičky se vzorkem I. nekomerční hliněnou omítkou pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

OBRÁZEK 15 Dřevěná forma ve tvaru osmičky se vzorkem II. komerční hliněnou omítkou Picas pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

OBRÁZEK 16 Dřevěná forma ve tvaru osmičky se vzorkem III. komerční hliněnou omítkou Cemix pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

OBRÁZEK 17 Ukázka vzorků v suchém stavu a ve směsi s vodou – zleva: vzorky komerční Cemix, Picas, nekomerční vzorek (archiv autora)

OBRÁZEK 18 Dřevěná forma ve tvaru osmičky se vzorkem I. nekomerční hliněnou směsí pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

OBRÁZEK 19 Dřevěná forma ve tvaru osmičky se vzorkem II. komerční hliněnou směsí věnovanou firmou Tecno Adobe pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

OBRÁZEK 20 Dřevěná forma ve tvaru osmičky se vzorkem III. komerční hliněnou směsí věnovanou firmou Tecno Adobe pro zkoušku vaznosti (archiv autora)

OBRÁZEK 21 Ukázka vzorků v suchém stavu a ve směsi s vodou – zleva: vzorek nekomerční; vzorky komerční poskytnuté firmou Tecno Adobe (archiv autora)

10. Seznam tabulek

Tabulka 1 Časové hodnoty pro zkoušky vaznosti

Tabulka 2 Výsledná vaznost v závislosti na čase

Tabulka 3 Časový postup měření

Tabulka 4 Technické parametry hliněné omítky Picas série Ekonom. Parametry jsou stanoveny při normálních podmínkách (18 – 22 °C) a (60 – 70 %) relativní vlhkosti

Tabulka 5 Výsledná vaznost v závislosti na čase

Tabulka 6 Časový postup měření

Tabulka 7 Technické parametry hliněné jemné omítky Cemixx, s.r.o. Parametry jsou stanoveny při normálních podmínkách (20 ± 2 °C) a (65 ± 5 %) relativní vlhkosti.

Tabulka 8 Výsledná vaznost v závislosti na čase

Tabulka 9 Časový postup měření

Tabulka 10 Výsledná vaznost v závislosti na čase

Tabulka 11 Časový postup měření

Tabulka 12 Výsledná vaznost v závislosti na čase

Tabulka 13 Časový postup měření

Tabulka 14 Výsledná vaznost v závislosti na čase

Tabulka 15 Časový postup měření

11. Seznam grafů

Graf 1 – Graf závislosti vaznosti v čase směs I.

Graf 2 – Graf závislosti vaznosti v čase směs II.

Graf 3 – Graf závislosti vaznosti v čase směs III.

Graf 4 – Graf závislosti vaznosti v čase směs Mexiko I.

Graf 5 – Graf závislosti vaznosti v čase směs Mexiko II.

Graf 6 – Graf závislosti vaznosti v čase směs Mexiko III.

12. Přílohy

Technický list Cemix

Technický list Picas