

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra technologie staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**MRAZUVZDORNOST HLINĚNÝCH OMÍTEK
STABILIZOVANÝCH POLYMERY**

Bc. Michal Seidl

2020

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Procházka, Ph.D.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Seidl Jméno: Michal Osobní číslo: 438502
Zadávací katedra: Katedra technologie staveb
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Mrazuvzdornost hliněných omítek stabilizovaných polymery
Název diplomové práce anglicky: Frost-resistance of clay plasters stabilized by polymers

Pokyny pro vypracování:

Zpracovat rešerši na téma odolnost venkovních hliněných omítek

Zpracovat rešerši na téma možnosti měření mrazuvzdornosti

Zvolit vhodné metody pro měření mrazuvzdornosti hliněných omítek, respektive tyto metody modifikovat

Provést měření mrazuvzdornosti hliněných omítek, pakliže to je možné

Diskutovat výsledky a doporučit další postup

Seznam doporučené literatury:

Minke Gernot - Příručka hliněného stavitelství

Suske Petr - Hliněné domy nové generácie

Žabičková Ivana - Hliněné stavby

Havlíček, V. – Souček, K. - Stavby z nepálené hlíny

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michal Procházka, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 24.9.2019 Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

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“.

24.9.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

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

V Rožtokách 20.12.2019

Michal Seidl

Poděkování:

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Michalu Procházkovi, Ph.D. za odborné vedení při zpracování mé diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat Michalovi Navrátilovi za darování materiálu na výrobu vzorků a Ing. Ing. Marcelovi Joglovi za pomoc při využívání experimentálního centra.

Anotace:

Diplomová práce se věnuje zkoušce mrazuvzdornosti venkovních hliněných omítek stabilizovaných polymery. V rámci práce je zpracována celková rešerše problematiky hliněných omítek včetně laboratorního zkoumání, zda jsou takto stabilizované omítky mrazuvzdorné.

Klíčová slova:

jíl, písek, prach, polymer, hliněné omítky, stabilizace, mrazuvzdornost

Annotation:

This diploma thesis studies frost resistance in outdoor clay plaster stabilized by polymers. In this thesis, we review literature related to clay plastering and experimentally examine whether clay plaster stabilized with polymers is indeed frost resistant.

Keywords:

clay, sand, dust, polymer, clay plaster, stabilization, frost-resistance

Obsah

1	Úvod	9
2	Teoretická východiska	11
2.1	Zeminy	11
2.1.1	Vznik zemin.....	11
2.1.2	Druhy zemin.....	11
2.1.3	Klasifikace zemin	12
2.2	Hlína.....	14
2.2.1	Jíly jako pojivo.....	14
2.2.2	Prachy a písky	15
2.2.3	Přísady a příměsi	15
2.2.4	Další složky.....	16
2.2.5	Použití	17
2.2.6	Vlastnosti	18
2.3	Hliněné omítky	24
2.3.1	Podhoz.....	24
2.3.2	Štuková.....	24
2.3.3	Hrubá	25
2.3.4	Jemná	25
2.4	Venkovní stabilizované hliněné omítky	25
2.4.1	Venkovní stabilizované minerálním pojivem	26
2.4.2	Venkovní stabilizované živočišným a rostlinným pojivem	26
2.4.3	Venkovní stabilizované syntetickým pojivem	27
2.5	Mrazuvzdornost	27

2.5.1	Problematika testování hliněných směsí.....	27
3	Cíl práce a pracovní hypotézy	29
3.1	Hypotéza.....	29
3.2	Cíl práce.....	29
4	Použité vědecké metody zkoumání	30
4.1	Původní zkouška mrazuvzdornosti	30
4.1.1	Zohlednění zkoušky kvůli vlastnostem hliněných omítek	30
4.1.2	Upravený postup.....	30
4.1.3	Zkouška tahu za ohybu.....	32
5	Vlastní výsledky.....	33
5.1	Složení směsi.....	33
5.1.1	Hrubá omítka	34
5.1.2	Jemná omítka	36
5.2	Výroba vzorků.....	37
5.3	Zkouška mrazuvzdornost.....	39
5.3.1	Mrazící cykly	39
5.3.2	Zkouška třibodového tahu za ohybu	41
5.3.3	Rozměry, hmotnosti a objemové hmotnosti vzorků.....	43
5.3.4	Pevnost v tahu za ohybu.....	50
5.4	Výsledky zkoušky.....	56
5.5	Diskuze	59
6	Přínosy	60
7	Doporučení pro další postup.....	61
8	Závěr	62
8.1	Modifikovaná zkouška mrazuvzdornosti	62

8.2	Mrazuvzdornost hliněných omítek stabilizovaných polymery	62
9	Použitá literatura.....	63
10	Rejstříky	64
10.1	Seznam tabulek.....	64
10.2	Seznam obrázků.....	65
10.3	Seznam grafů	65

1 Úvod

V dnešní době se na vlně ekologie a ochrany klimatu velice často řeší otázka trvale udržitelného rozvoje. Ten se řídí několika principy, které se dají aplikovat na stavební činnost. Moderní stavby se snaží o čím dál větší využívání obnovitelných zdrojů a přírodních materiálů místo konvenčních stavebních materiálů. Ve velké části rozvojových zemí je stavba z obnovitelných a přírodních zdrojů často jedinou možností.

Jedním z těchto materiálů je právě hlína, ve stavebnictví používaná od pravěku. Byla využívána po celém světě a velké množství staveb se dochovalo do dneška.

Samotná hlína prošla samozřejmě v průběhu času zdokonalováním. Původní udusaná hlína se v průběhu času změnila na cihly z nepálené hlíny, které byly zpevněné pomocí lokálních materiálů (plevy, sláma, chlěvská mrva). S postupem nároků na kvalitnější bydlení ve městech přichází doba pálených keramických výrobků (cihly, tašky, nádobí).

V důsledku používání betonových a ocelových konstrukcí zůstává od 18. století hlína na vedlejší vývojové větvi a do většího povědomí se opět dostává právě až ve století 20., ve kterém začíná společnost více lpět na ochraně klimatu a přírodních zdrojů.

Jako každý materiál má ovšem také své nevýhody. Kvalitu hlíny určuje zejména lokalita, ze které pochází a nedá se tedy přesně stanovit její kvalita. Při vysychání hlína výrazně mění svůj objem v důsledku čehož vznikají smršťovací trhliny. Není vhodná pro výškové stavby ani nemá dobré hydrofobní vlastnosti. Této kapitole je věnována část této práce, protože to byla jedna z největších překážek, se kterou jsem se musel vypořádat.

Oproti záporům má hlína ale i výhody. Přirozeně reguluje vnitřní klima a pomáhá udržovat zdravé prostředí. Velká akumulární schopnost může být použita k pasivnímu využívání sluneční energie. Nevypálená hlína se dá bez problému znovu zpracovat nebo vrátit do přírody. Velká většina staveb se

neobejde bez základů, ze kterých se poté musí hlína odvážet na skládku. Při správné kvalitě hlíny, se dá část recyklovat použitím pro samotnou stavbu.

Ve své práci se zabývám odolností hliněných omítek stabilizovaných polymery vůči mrazu. Pokusím se ověřit, že při správném složení bude schopna venkovní hliněná omítka odolávat nepříznivým klimatickým vlivům.

2 Teoretická východiska

2.1 Zeminy

Zeminy se skládají z pevných částic, vody a vzduchových mezer. Podle zastoupení těchto částic můžeme zeminy dále dělit na soudržné (jíly), nesoudržné (písek a štěrk), organické (rašelina) a umělé (skládky a navážky). V práci se zabývám pouze zeminami soudržnými a nesoudržnými, protože právě z nich se skládá hliněná omítka.

2.1.1 Vznik zemin

Z hlediska vzniku rozlišujeme zeminy reziduální a sedimentární. Reziduální zeminy vznikaly zvětráváním hornin a nebyly další fyzikální silou nikterak transportované.

Sedimentární zeminy naopak vznikaly transportním procesem. Mezi tyto transportní procesy patřilo působení vody (naplavené, usazené a ledovcové), gravitace (svahové), vítr (naváté).

Z hlediska historie zatížení a fyzikálně–mechanických vlastností rozlišujeme zeminy normálně konsolidované a překonsolidované. Konsolidované zeminy jsou ty zeminy, které vznikaly reologickým procesem postupného přizpůsobování působícímu zatížení (způsobené zejména vlastní tíhou).

Překonsolidované zeminy byly v minulosti zatížené více, než jsou v současnosti. Takto vzniklé zeminy mají velice malé sedání, naopak ale hrozí nestabilita svahů složených z těchto zemin.

2.1.2 Druhy zemin

Podle velikosti částic dělíme zeminy na:

Jemnozrné zeminy (jednotlivé částice nelze spatřit pouhým okem)

- jíly (velikost částic do 0,002 mm)
- hlíny (velikost částic 0,002 až 0,06 mm)

Hrubozrnné zeminy (jednotlivé částice lze spatřit pouhým okem)

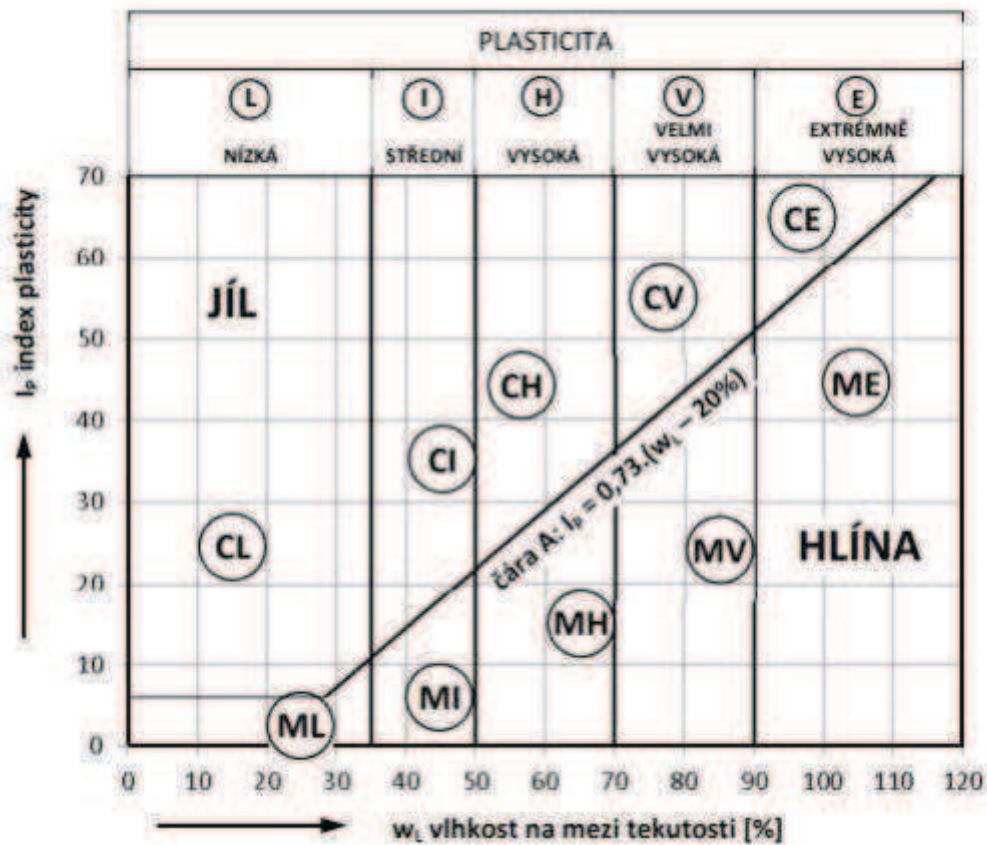
- písek (velikost částic 0,06 až 2 mm)
- štěrk (velikost částic 2 až 60 mm)
- valouny (velikost částic 60 až 300 mm)
- balvany (velikost částic více než 300 mm)

2.1.3 Klasifikace zemin

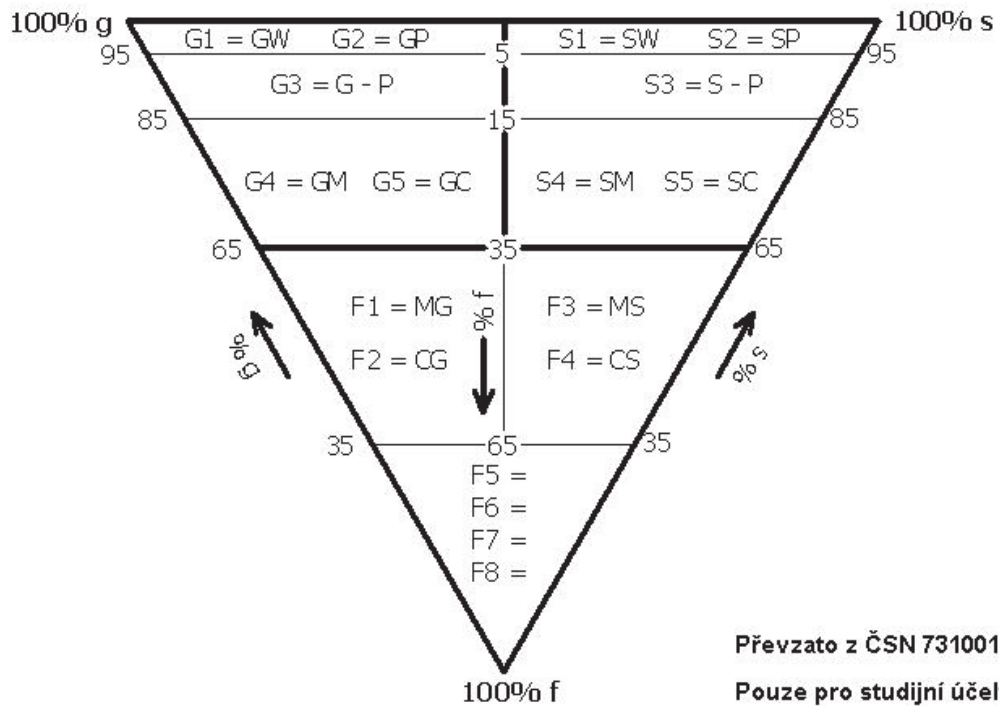
Podle zastoupení částic v zemině dělíme dle ČSN 73 1001 zeminy na:

Tabulka 1: Klasifikace zemin dle ČSN 73 1001

Třída ČSN 73 1001	Název typu zeminy	Symbol
F1	štěrkovitá hlína	MG
F2	jíl štěrkovitý	CG
F3	hlína písčitá	MS
F4	jíl písčitý	CS
F5	hlína s nízkou plasticitou	ML
	hlína se střední plasticitou	MI
F6	jíl s nízkou plasticitou	CL
	jíl se střední plasticitou	CI
F7	hlína s vysokou plasticitou	MH
	hlína s velmi vysokou plasticitou	MV
	hlína s extrémně vysokou plasticitou	ME
F8	jíl s vysokou plasticitou	CH
	jíl s velmi vysokou plasticitou	CV
	jíl s extrémně vysokou plasticitou	CE



Obrázek 2.1 Plasticitní diagram podle Casagrandeho (podle ČSN 73 1001)



Převzato z ČSN 731001
Pouze pro studijní účely

Obrázek 2.2 Trojúhelníkový diagram pro částice do 60 mm (podle ČSN 73 1001)

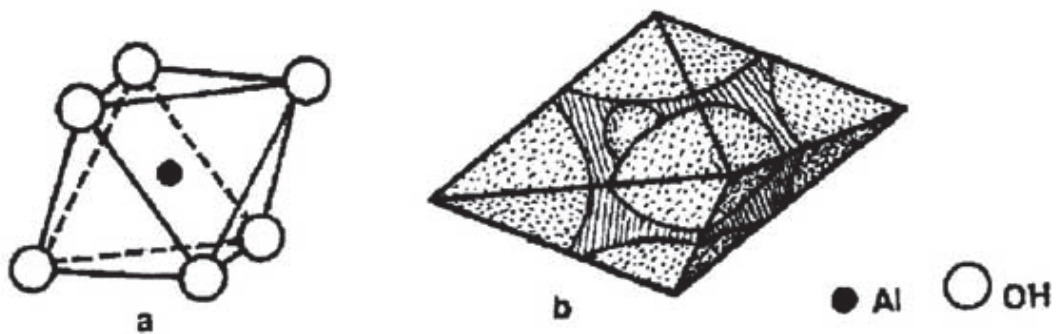
2.2 Hlína

Ve své práci se zabývám problematikou hliněných omítek, tudíž se budu podrobně věnovat převážně této zemině.

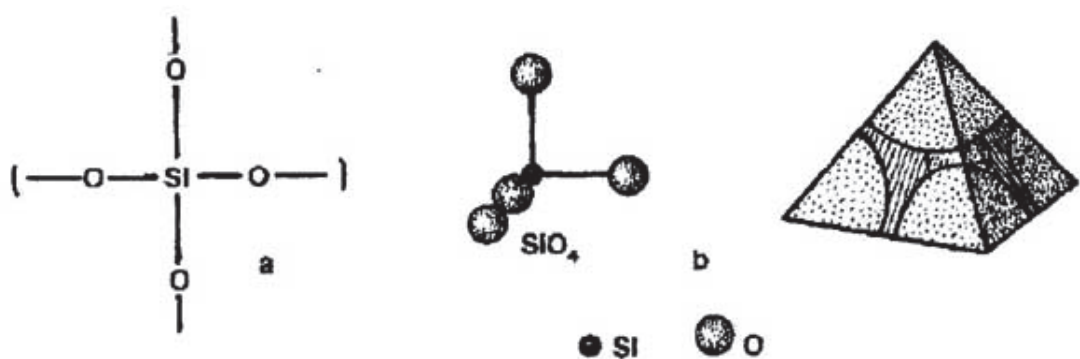
Hlína je směs jílu, prachu a písku. Jejich zastoupení se liší podle lokality těžby hlíny. Pro stavitelství se hodí nejvíce hlíny s velkým obsahem jílu, který se vyznačuje dobrou pojivostí a zpracovatelností.

2.2.1 Jíly jako pojivo

Jíl je nezpevněná hornina, která má více jak 50% zastoupení jílovité složky. Je tvořena jílovými minerály s velikostí zrn pod 2 μm . Tyto minerály tvoří vrstvenou krystalovou mřížku tvořenou křemíkovými tetraedry, které spolu s hliníkovými oktaedry tvoří vnitřní strukturu jílu.



Obrázek 2.3: Schéma staveb oktaedru



Obrázek 2.4 Schéma staveb tetraedru

[1]Vzniká tak navenek teoreticky elektroneutrální struktura s vyrovnaným počtem kladných i záporných nábojů. Vrstvy vytváří lamely krystalové mřížky jílových minerálů, které sestávají ze dvou nebo ze tří vrstev tetraedrů a oktaedrů.

2.2.2 Prachy a písky

Neváží na sebe na rozdíl od jílu jiné částice a tvoří tak čistě pouze plnivo. Jejich rozměr je 0,002 mm - 0,06 mm.

Písky, stejně jako prachové částice, slouží v hliněných omítkách jako plnivo. Jejich velikost je 0,06 mm – 4 mm.

2.2.3 Přísady a příměsi

- Cement

[3] Je vhodný především pro stabilizaci hlín s nižším podílem jílu. Čím více jílu hlína obsahuje, tím větší množství cementu je potřeba pro dosažení stabilizačního účinku přidat. Hrubší cementové částice přitom musí obalit jemnější částice jílu, aby tak v dostatečné míře zabránily jeho bobtnání a smršťování. Směsi dosahují konečné pevnosti po 28 dnech (stejně jako beton).

- Vápno

Po přidání vápna se složky hlíny vzájemně ovlivňují tak, že dochází k iontové výměně. Předpokladem je dostatečná vlhkost. Ionty vápna jsou nahrazeny kationty kovů z hlíny čímž dochází ke shlukování drobných částic a snížení schopnosti vázat vodu. Současně dochází k vytvrzení omítky.

- Bitumen (živice)

Materiál používaný pro své hydrofobní vlastnosti od starověku. Před přidáním je potřeba bitumen rozpustit v rozpouštědle

(petrolej, benzín nebo parafínový olej). Po odpaření rozpouštědla dochází ke vzniku hydrofobního filmu.

V současnosti se nejvíce používají bitumenové emulze, které jsou rozpustné ve vodě. Jejich zastoupení v omítce se doporučuje kolem 4-8 %.

- **Pigmenty**

Získávají se z barevných hlín bez přísad umělých barviv (v podobě velmi jemného prášku bez hrudek). Jsou použitelné pro barvení hliněných omítek.

- **Řezanka**

Mezi nejčastější materiály patří ovesná řezanka. Její délka je mezi 2 a 5 cm. Řezanka musí být dostatečně vyschlá, aby nedošlo k napadení plísní. Ideální je použít řezanku sklizenou v předchozím roce. Řezanka se přidává pouze do hrubých hliněných omítek.

- **Polymery**

Mohou zlepšit většinu vlastností hliněných omítek. Ovlivňují zpracovatelnost a zásadně zvyšují odolnost vůči působení vody a současně také pevnost v tlaku a tahu. Ze všech materiálů používaných ke stabilizaci, dosahují nejlepších výsledků.

2.2.4 Další složky

Povrchová zemina obsahuje většinou rostlinou nebo organickou hmotu z odumřelých těl živočichů a rostlin. Hlína pro stavební použití by tyto složky neměla obsahovat, protože negativně ovlivňují její vlastnosti.

2.2.5 Použití

V historii nalezneme nespočet staveb, na které byla použita hlína. Jedná se o jeden z nejstarších stavebních materiálů používaný po celém světě.

Mezi historické tradiční technologie patřily nepálené cihly (vepřovice), dusaná hlína, vrstvená hlína, slamnohliněné konstrukce kombinované se dřevem, omazávky, mazaniny, malty a omítky [2].

- **Nepálená cihla**
Vyráběla se dusáním hliněné směsi do dřevěné formy často doplněné rostlinou složkou pro její zpevnění. Cihla se poté nechala vyschnout. Po vyschnutí, trvajícím přibližně 4 týdny, byla připravená ke zdění [2].
- **Dusaná hlína**
Mírně zvlhčená hlína udusávaná do dřevěného bednění. Dusání probíhalo pomocí ručních dřevěných pěchů. Povrchy takto zhotovených stěn se velice často omítaly [2].
- **Vrstvená hlína**
Hliněná směs se slámou nebo plevami konzistence hnoje, prošlapaná dobyt看em nebo nohama, se vrství vidlemi do masivní zdi bez pomoci bednění v šířce zdiva po vrstvách cca 0,8 - 1,0 m. Po vyschnutí každé vrstvy (2–3 týdny) se povrch stěny oseká rýčem a nanáší se další vrstva. Velké otvory se vynechávají, malé se vyřezávají dodatečně [2].
- **Slamnohliněné konstrukce kombinované se dřevem**
Tento druh byl nejčastěji používán jako stropní konstrukce. Jednalo se o dřevěnou tyč, na kterou byla namotána směs hlíny a slámy což dohromady tvořilo hliněný poval [2].

- **Omazávky**
Nosnou konstrukcí zde bylo proutěný rošt, který byl „omazán“ hliněnoslaměnou kaší [2].
- **Mazaniny**
Jedná se o kvalitní hlínu, která byla doplněna organickou rostlinou složkou. Sloužila k utěsnění spár dřevěných konstrukcí (roubenek) nebo se s ní nahazovaly dřevěné konstrukce, které se tak chránily proti ohni [2].
- **Malty**
Sloužily ke zdění staveb z nepálených cihel, pálených cihel a kamene [2].
- **Omítky**
Směs jílu, písku a prachu, které chrání konstrukci a poskytují jednotný vzhled konstrukce. Hliněným omítkám se budu podrobněji věnovat v kapitole 2.3 [2].

2.2.6 Vlastnosti

Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku se u hliněných stavebních prvků v suchém stavu pohybuje v rozmezí 3–6 MPa. Největší roli hraje množství a druh jílu, velikost a množství částic prachu, písku a štěrku a také způsob zpracování a pěstování. Hliněné prvky mají veliký součinitel bezpečnosti, který je cca 7. To znamená, že skutečná pevnost v tlaku je v průměru sedmkrát vyšší, než kolik udává přípustná hodnota [3].

Pevnost v tahu za ohybu

Tato pevnost není pro hlínu jako stavební materiál moc důležitá, protože není zatěžována ohybem. V našem případě jí ale musíme věnovat dostatečnou pozornost, protože jsou hliněné omítky zkoušené právě touto pevností. Čím vyšší má tuto pevnost tím je omítka méně náchylná k praskání a trhání. Pevnost v tahu za ohybu nejvíce ovlivňuje množství a druh jílu.

Pevnost v tahu v suchém stavu

Jedná se o pevnost v tahu u hlíny, která je v naprosto suchém stavu. Pevnost v tahu u hliněných cihel odpovídá cca 10–11 % jejich pevnosti v tlaku a u hliněných omítek se jedná o 11–13 % [3].

Pojivá schopnost

Pojivá schopnost je odpor, který klade hlína při zkoušce tahem. Jde o pevnost v tahu v plastickém stavu. Tato schopnost záleží hlavně na množství a druhu jílu a jílových minerálů. Jíly s vyšším obsahem draslíku a sodíku mají lepší pojivé schopnosti než jíly s vyšším obsahem vápníku. Pro stanovení pojivé schopnosti musí hlína dosahovat tzv. normované konzistence.

Podle normy DIN 18952 hlíny, které mají pojivou schopnost menší než 50 g/cm², nejsou vhodné pro stavební účely. Nicméně je důležité si uvědomit, že tato hranice není zcela správná. U velmi hubené hlíny, obsahující písku více jak 40 %, nelze stanovit normovou konzistenci dle DIN 18952, jelikož při zkoušce volným pádem (z testovaného vzorku hlíny uválíme kuličku o průměru 5 cm a pustíme ji z výšky 2 m na pevnou podložku) zjistíme, že se kulička rozpadá. Jednotlivé druhy hlíny dle jejich pojivé schopnosti nalezneme v tabulce č. 5 [3].

Tabulka 2: Tabulka pojivé schopnosti

Pojivá schopnost [g/cm ²]	Název
50-110	Hubená hlína
111-200	Téměř tučná hlína
201-280	Tučná hlína
281-360	Velmi tučná hlína

Přilnavost a otěruvzdornost

Přilnavost posuzujeme především u hliněných omítek. Je závislá na drsnosti podkladu a pevnosti v tahu za ohybu.

Vlivem mechanického zatížení vykazují hliněné povrchy opotřebení otěrem. Například obvodové zdi, které jsou poškozovány vlivem počasí, nebo podlahy, které jsou namáhány podrážkami obuvi. Čím je namáhaný povrch hladší, tím se jeho otěruvzdornost zvyšuje. Materiály, které jsou otěruvzdorné, mají vysokou pojivou schopnost. Rozhodujícím faktorem je zrnitostní složení a podíl jílu [3].

Reakce na působení vody

Při styku hlíny s vodou proniká voda do vrstevnaté krystalové struktury jílových minerálů a obaluje jednotlivé vrstvy tenkým filmem. Díky tomu hlína nabývá na objemu a je plastičtější. Voda vlivem kapilárních sil proniká do pórů vyplněných vzduchem, které jsou mezi pevnými částicemi hlíny [3].

Bobtnání a smrštění

Bobtnáním můžeme také nazvat zvětšování svého objemu. Je to do jisté míry příznivá vlastnost hlíny při absorpci většího množství vody.

Opakem bobtnání je smrštění, které vzniká při vysychání, objem se zmenšuje. Míra bobtnání a smrštění hlíny záleží na množství a druhu obsaženého jílu. Nejvíce bobtná montmorillonit. Faktorem ovlivňujícím míru bobtnání a smrštění je složení ostatních nejílových částic. Snížením smrštění a vzniku smršťovacích trhlin se dosáhne např. optimalizací zrnitosti hlíny [3].

Plasticita

Plasticita zemin vyjadřuje schopnost hlíny po smíchání s vodou a vytvoření těsta, měnit a udržet si svůj tvar bez porušení celistvosti účinkem vnějších sil. Závisí především na množství přítomných jílu a jílových minerálů v zemině. Tvoří ji zejména jemnost částic jílových minerálů, jejich destičkový tvar, povaha vodních filmů a přitažlivost sil mezi částicemi.

Hlína může mít různou konzistenci což je fyzikální stav soudržné zeminy závislý na vlhkosti, který ovlivňuje stlačitelnost a zpracovatelnost zeminy. Konzistence rozdělujeme na:

- tvrdou – suchá zemina, úlomky zeminy mají ostré hrany;
- pevnou – zavlhlá zemina, úlomky nemají ostré hrany, ale nedají se z nich vyválet válečky o průměru 3 mm;
- plasticky tuhou – zemina se obtížně hněte, lze vyválet válečky o průměru 3 mm;
- plastický měkkou – hněte se snadno;
- kašovitou – při sevření v pěsti se zemina protlačí mezi prsty;
- tekutou – ztrácí svoji pevnost a chová se jako hustá kapalina [1].

Pro soudržnou zeminu jsou definovány tzv. Atterbergovy konzistenční meze, které se dělí na:

- Mez tekutosti W_L – udává obsah vody v procentech, při kterém hlína přechází z te-kutého stavu do stavu plastického v tzv. Casagrandeho misce;
- Mez plasticity W_P – udává vlhkost hlíny v procentech na rozhraní plastické a pevné konzistence;
- Mez smrštění W_S – přechodná vlhkost jemnozrnné hlíny mezi stavem pevným a tvrdým za předpokladu, že voda ve vysušeném vzorku vyplňuje jeho póry.

Konzistenční meze uvedené v tabulce č. 6 udávají obsah vody v hlíně na přechodu z jednoho stavu do druhého. Obsah vody v hlíně stejné konzistence se může značně lišit, jelikož k dosažení stejné konzistence spotřebuje jílovitá půda dvakrát více vody [3].

Tabulka 3: Tabulka konzistence

Konzistence	Konzistenční meze
Tekutá (kašovitá)	mez tekutosti W_L mez plasticity W_P mez smrštění W_S
Plastická, měkká	
Tuhá	
Pevná až tvrdá	

Index plasticity I_P

Je rozsah vlhkosti, při kterém se hlína chová jako plastická mezi mezí tekutosti a plasticity. Konzistence se v tomto rozsahu může dále specifikovat jako kašovitá, měkká a tuhá. Plasticita hlíny vyjádřena indexem plasticity závisí na množství a vlastnostech jílových minerálů obsažených v hlíně. Čím blíže u sebe se budou nacházet hodnoty meze tekutosti a meze plasticity, tím nižší bude index plasticity. Indexy plasticit jednotlivých druhů hlín najdeme v tabulce č. 7 [3].

Tabulka 4: Tabulka indexu plasticity I_P

Druh hlíny	WL [%]	WP [%]	IP [%] = WL-WP
Silně písčité	10-23	50-20	< 5
Silně prachovité	15-35	10-25	5-15
Silně jílová	28-150	20-50	15-95
Bentonit	40	8	32

Index konzistence I_C

Na mezi tekutosti je roven 0 a na mezi plasticity 1. Vyjadřuje stav soudržné zeminy a lze ho stanovit na základě momentální vlhkosti w , vlhkosti na mezi tekutosti W_L a vlhkosti na mezi plasticity W_P pomocí vzorce:

$$I_C = \frac{W_L - W}{W_L - W_P} = \frac{W_L - W}{I_P}$$

Kapilární absorpce

Hlína má otevřenou pórovou strukturu a je schopna absorbovat a rozvádět vodu. Voda putuje z oblastí s vyšší vlhkostí do oblastí s nižší vlhkostí. Šíření vlhkosti v materiálu se označuje jako kapilární transport vlhkosti. Kapilární vodivost vyjadřuje koeficient nasákavosti, který udává kolik kg vody je schopen stavební materiál pojmout na 1 m² plochy v závislosti na čase. Množství absorbované vody W se vypočítá podle vzorce:

$$W = w * \sqrt{t}$$

Eroze působením mrazu

U odolnosti hlíny proti mrazu záleží na tom, jak je pórovitá. Čím větší podíl pórů v hlíně je, tím má větší odolnost proti mrazu. Při zamrznutí vody v pórech, se její objem zvětšuje a rozpíná se. To znamená, že v hlíně s vyšším podílem vzdušných pórů se míra eroze značně minimalizuje.

Nízká pórovitost hliněných směsí pro výrobu nepálených cihel je zapříčiněna vyšším podílem jílu ve směsi a mírou stlačení ve vakuovém lisu. Tyto cihly jsou tedy ohroženy namrzáním a nejsou vhodné pro použití ve vrstvách vnějších stěn.

Ručně vyráběné cihly s menším obsahem jílu a vyšším obsahem hrubozrnných částic disponují vysokým objemem vzdušných pórů a jsou mrazuvzdorné [3].

Vyplavitelnost

Tato vlastnost není pro praxi důležitá, protože stavební prvky z hliněných směsí by neměly být ve stálém kontaktu s vodou. Nicméně může dojít k promáčení zdiva například při nedostatečném zabezpečení stavby před deštěm, nebo např. v důsledku havárie potrubí. Z těchto důvodů by se měla stanovit vyplavitelnost používané hlíny např. podle DIN 18952 [3].

Působení tepla

Rozhodujícím tepelně technickým faktorem je pórovitost, objemová hmotnost a obsah vody. Větší množství vzdušných pórů zlepšuje tepelně izolační vlastnosti, negativně je však ovlivňuje vlhkost. Masivní stěna z hliněných cihel má podobné izolační vlastnosti jako stejně silná zeď z pálených cihel.

Mezi důležitou vlastnost obvodové stěny domu patří tepelný útlum. Je to schopnost udržovat vnitřní teplo navzdory kolísání venkovní teploty. Stěna s vysokým teplotním útlumem ovlivňuje pozitivně teplotní stabilitu v místnosti [3].

2.3 Hliněné omítky

Hliněné omítky ve svém „čistém“ provedení (bez použití hydraulických pojiv) mají největší zastoupení v interiérech. Zde jsou chráněny proti povětrnostním vlivům a nemají svého největšího nepřítele vodu.

Vynikají zejména svojí vlastností regulace relativní vlhkosti vzduchu v místnosti, díky své difúzní otevřenosti a schopnosti akumulace odebírají vodní páry ze vzduchu v případě vyššího zvlhčení v místnosti, a naopak zvlhčují vzduch příliš suchý.

2.3.1 Podhoz

Jako nejčastější přísada pro hliněný podhoz slouží řezanka. Ideální délka stébla, vhodná pro výrobu podhozu a omítky, je do 3 cm. Tato omítka slouží jako základ pro další vrstvy omítky. Připravený podhoz se na stěnu nanáší házením dlaní (případně zednickou lžící) nerovnoměrně, aby se povrch stěny zdrsnil.

Zrání podhozu je závislé na venkovní teplotě, při příznivém počasí trvá cca dva dny. Hodnocení probíhá jednak vizuálně a dále jednoduchým testem pomocí špičáku nebo zednického kladívka. Hotový podhoz musí být soudržný a při úderu špičákem nebo zednickým kladívkem musí docházet k odloupení pevného kusu materiálu bez známek mazání. [6]

2.3.2 Štuková

Štukových omítek je mnoho, ale jejich společným jmenovatelem je písek o zrnitosti 0,2-2 mm, jíl či hlína a často i jemná vlákna. Vlákna jsou nejčastěji celulózová, konopná nebo lněná. Finální omítka se aplikuje hlazením nebo filcováním. Hlazené omítky slouží jako finální úprava, protože se na povrch dostává jíl nebo hlína, která utváří hladkou a pevnou plochu. Filcované štukové omítky je nutno opatřit nátěrem, protože by jinak docházelo k uvolňování částic písku.

2.3.3 Hrubá

Aplikace může být ruční nebo strojní. Slouží jako jádrová omítka a vyrovnává povrch pro finální vrstvu jemné omítky. Nejčastější je nanášení v tloušťce do 1,5 cm. Existují 2 druhy hrubé omítky. Hrubá hliněná omítka bez řezanky a hrubá hliněná omítka s řezankou nebo konopným pazdeřím.

Hrubá hliněná omítka bez řezanky se používá na stabilní podklady (cihla, beton atd.). Na tyto podklady je možné provést hrubou omítku dokonce o tloušťce 0,7 cm.

Hrubá hliněná omítka s řezankou nebo konopným pazdeřím se používá pro stabilní i nestabilní podklady (rákosová rohož, dřevěný kotvící rošt atd.). Obsažení řezanky v omítce způsobí, že se mohou její vlákna lépe spojit s podkladním materiálem což přispívá k větší soudržnosti omítky a podkladu.

2.3.4 Jemná

Jejich aplikace je na rozdíl od hrubé omítky pouze ruční. Slouží jako finální interiérová vrstva. Podle způsobu zpracování ji lze použít k dekorativním účelům bez nutnosti další povrchové úpravy. Finální povrch se provádí filcováním nebo hlazením. Vzhledem k vlastnostem nelze provádět dokonalé a jednolité plochy. Povrch lze natřít, je však potřeba použít prodyšný nátěr, který neohrožuje jejich vlastnosti.

2.4 Venkovní stabilizované hliněné omítky

Venkovní hliněné omítky jsou samy o sobě více namáhány přírodními vlivy, proto je potřeba zajistit, aby těmto vlivům odolaly. Mezi konstrukční řešení, kterým se může zvýšit životnost venkovní hliněné omítky jsou

- Dostatečný přesah střechy
- Provedení soklu v dostatečné výšce (ochrana proti odstříkující vodě)
- Vhodně zvolený materiálu okapového chodníčku

Další způsob, jak ochránit omítku, je zlepšení jejích vlastností. Tento proces se nazývá stabilizace a má za následek zlepšení několika základních

vlastností (nasákavost, soudržnost a další), které jsou důležité pro dlouhou životnost omítky. Sekundární pojiva dělíme na:

- Minerální (cement, vápno, bitumen)
- Rostlinná (oleje, pryskyřice a latex, mouka, škrob či melasa)
- Živočišná (zvířecí exkrementy, zvířecí krev, kasein, kliš)
- Syntetická (polymery)

2.4.1 Venkovní stabilizované minerálním pojivem

Cement je vhodný zejména pro stabilizaci písčitých hlín s nízkým podílem jílu. Zlepšuje jak jejich odolnost vůči povětrnostním vlivům, tak pevnost v tlaku. Vlastnosti výsledné směsi jsou závislé na množství přidaného cementu a typu hlíny. Stabilizace hliněných omítek příměsí cementu není v ČR v současné době zvykem.

Stejně jako cement je bitumen, resp. bitumenová emulze, vhodný pro stabilizaci písčitých hlín s nízkým podílem jílu. Tato forma stabilizace je známa a hojně používána např. v Kalifornii a Peru, v České republice však stojí na okraji zájmu [5].

Oproti cementu a bitumenu je vápno vhodným stabilizačním prostředkem pro jílovité hlíny, záleží však také na druhu jílu. Optimální množství vápenné příměsi se u každého druhu hlíny liší, je proto zapotřebí provést nejdříve patřičné zkoušky [5].

2.4.2 Venkovní stabilizované živočišným a rostlinným pojivem

Látky živočišného a rostlinného původu mají v historii hliněných omítek nejhlubší kořeny, protože tyto materiály byly v minulosti snadno získatelné. Mezi nejběžnější živočišná pojiva patří zvířecí exkrementy, zvířecí krev, kasein, kliš a další. Mezi rostlinné patří různé oleje, pryskyřice a latex, mouka, škrob či melasa.

Všechny tyto látky se dají kombinovat s minerálním pojivem (nejčastěji vápnem). „Mezi látkami živočišného původu a vápnem totiž dochází

k chemickým reakcím, které stabilizační efekt znásobí. Nejčastější kombinací v různých podobách je vápno a kasein (z tvarohu, močůvky, hnoje apod.). Tyto stabilizace jsou do jisté míry použitelné pro venkovní omítky. Jedná se však o řešení relativně složitá, otázkou v případě omítek venkovních spíše psychologickou může být hygieničnost těchto směsí a komplikovaně řešitelná zůstává otázka technologie suchých směsí.“ Složení těchto omítek je popsáno podrobněji v knize prof. Minkeho: Příručka hliněného stavitelství [4].

2.4.3 Venkovní stabilizované syntetickým pojivem

Takto stabilizovanou omítkou se budu věnovat ve své práci. Jedná se o nejnovější způsob řešení stabilizace, a ne všechny aspekty jsou již prozkoumány. Zároveň představuje dokonalé řešení pro rekonstrukce historických budov z nepálené hlíny [4].

2.5 Mrazuvzdornost

Mrazuvzdornost je schopnost materiálu odolávat vlivům způsobeným mrazem. Nejnáchylnější jsou materiály obsahující velké množství vody, která má za důsledek objemové změny kapalné vody a následnou degradaci materiálu.

Mrazuvzdornost se zkouší zejména u obkladových materiálů a směsí, které potřebují vodu ke svému zpracování. Jedná se převážně o venkovní dlažby, obklady, omítky, zdící hmoty a materiály. U suchých materiálů, které mají minimální nasákavost, není toto riziko velké a proto u nich není potřeba mrazuvzdornost zkoušet.

2.5.1 Problematika testování hliněných směsí

U stavebních konstrukcí z hlíny není potřeba většinou stabilizaci řešit. Konstrukce se dají velice dobře odizolovat vhodnou hydroizolací nebo se zvolí vhodná povrchová úprava, která hlínu ochrání.

Opačná situace je ovšem u venkovních hliněných omítek, které jsou vystavené nepřízní počasí 24 hodin denně, a je potřeba provést jejich

stabilizaci. Použít se zde může také hydrofobní nátěr, ale při jeho jakémkoliv porušení může dojít k pronikání vody a popraskání omítky.

Právě pro tyto případy je nejvhodnější variantou zvolit vhodnou přísadu nebo příměs (stabilizátor), která zabezpečí zvýšenou odolnost venkovních hliněných omítek vůči klimatickým vlivům.

3 Cíl práce a pracovní hypotézy

3.1 Hypotéza

Celou praktickou část se věnuji upravování vlastností hliněných omítek tak, aby byla zaručena jejich mrazuvzdornost. U všech materiálů, které se většinou zkouší, závisí mrazuvzdornost především na tom, jakou nasákavost a pevnost materiál má.

Nestabilizované hliněné omítky jsou velmi dobře nasákavé a nemají velkou pevnost. To, že jsou stabilizované omítky méně nasákavé a mají větší pevnost je jasné již z výzkumů, které prováděl ve své diplomové práci Ing. Michal Procházka, Ph.D..

3.2 Cíl práce

Mým cílem bylo samotné zvládnutí přípravy těles, aby zvládly celý proces zkoušky. Ke stabilizaci jsem použil polymery, které používal vedoucí mojí práce ve svém výzkumu. Tím bych měl docílit toho, že zkušební tělesa zvládnou pro hlínu náročné podmínky bez většího problému.

Pro zkušební tělesa jsem použil hrubou omítku, která je používána jako podklad pro omítku jemnou. Hrubá omítky (jádro) byla stabilizovaná 0,1 a 0,5procentním zastoupením polymeru. Jemná omítky byla stabilizovaná 1 a 2procentním zastoupením polymeru. Touto stabilizací jsem docílil toho, že většina zkušebních vzorků zvládla mrazící cykly. Některé vzorky bohužel nebyly dostatečně stabilizované, aby zvládly 24hodinovou vodní lázeň. Přehled úspěšných/neúspěšných vzorků je uveden níže.

Neúspěšné vzorky nevidím nikterak tragicky, protože se jednalo o málo stabilizované vzorky, které slouží jako jádro pro vzorky stabilizované více. Nikdy tedy nenastanou tak extrémní situace, jakým byly vystaveny ve zkoušce.

4 Použité vědecké metody zkoumání

4.1 Původní zkouška mrazuvzdornosti

Hliněné omítky spadají pod maltové směsi a jejich zkoušení bude probíhat dle ČSN 72 2452, která je v platnosti od 6.11.1968. Pro naše účely jsem použil její modifikaci, kterou popíšu v následujících kapitolách.

4.1.1 Zohlednění zkoušky kvůli vlastnostem hliněných omítek

Podstatou zkoušky je střídavé zmrazování a rozmrazování zkušebních těles, které jsou vyhotoveny podle ČSN 72 2450 Zkouška pevnosti malty v tahu za ohybu. Vzorky se zkoušejí na rámečcích o rozměrech 40x40x160 mm z řádně zatvrdlé omítky.

Ke zkoušce jsem musel vyhotovit minimální potřebný počet rámečků. Pokud bych se řídil normou, tak bych po každé zmrazovací etapě musel provést zkoušku tlaku za ohybu a při poklesu pevnosti pod 75 % referenčních vzorků zkoušení ukončil. Kvůli specifickým vlastnostem hlíny, která má při vlhkém stavu výrazně sníženou pevnost, jsem se rozhodl, že nejdříve provedu všechny předepsané cykly, po kterých provedu zkoušku tahu za ohybu.

Zkouška tahu za ohybu má také probíhat bezprostředně po vytažení vzorků z vodní lázně, ve které došlo k jejich rozmrazování. Zde jsem se uchýlil k další změně a zkoušku tahu za ohybu jsem provedl až po důkladném vyschnutí vzorku v ustáleném prostředí.

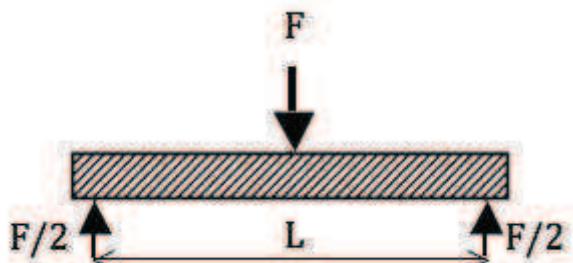
4.1.2 Upravený postup

1. Určení počtu zmrazovacích etap, který je závislý na charakteru zkoušeného materiálu. Protože se jedná o vnější svislou omítku, která umožňuje stékání případné vody a nehrozí, že by mohla být vystavena trvalému ponoření, jsem stanovil požadovanou mrazuvzdornost 6 až 10, která předepisuje 2 zmrazovací etapy a v našem upraveném postupu 3 zkušební a 3 referenční vzorky.
2. Příprava těles o daných rozměrech, jejich složení se budu věnovat v pozdější kapitole.

3. Ke zkoušce je potřeba vodní lázeň o teplotě vody 15-20 °C, kde bude hladina vody minimálně 3 cm nad povrchem. Dále je potřeba mrazicí prostor, vychlazený na $-20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$. Objem mrazicího prostoru musí být minimálně 3x větší než objem vzorků.
4. Před započítáním zkoušky se u každého tělesa změří jeho rozměry a hmotnost. Podle těchto údajů se vypočítá jejich objemová hmotnost.
5. Po těchto přípravách může začít samotný zkušební cyklus. Já jsem k 24 h namáčení vzorků použil plastové skladovací boxy, do kterých jsem umístil ocelové koše do mrazicího boxu. Voda měla po celou dobu mrazicího cyklu 19,5 °C, protože se nacházela v místnosti, se stálým klimatem.
6. Po uplynutí 24 hodin došlo k přesunutí nerozmočených vzorků do mrazicího boxu, kde jsem nastavil teplotu na -20 °C . Teplota byla překontrolovaná teploměrem a byla udržena po celou dobu mrazení. Tento proces nevydržely všechny 0,1 % vzorky a některé 0,5 % vzorky.

4.1.3 Zkouška tahu za ohybu.

Po mrazících cyklech a řádném vyschnutí dochází k tříbodové zkoušce tahu za ohybu. Lámání probíhá na hydraulickém lisu.



Obrázek 4.1: Schéma zatížení při tříbodové zkoušce tahu za ohybu

Pevnost v příčném tahu je dána následujícím vztahem:

$$f_{ct} = \frac{M}{W} = \frac{\frac{1}{2}FL}{\frac{1}{6}bh^2}$$

- kde: f_{ct} je pevnost v příčném tahu [MPa],
 F je maximální zatížení [N],
 L je délka dotykové přímky tělesa [mm],
 b je šířka tělesa [mm].
 h je výška tělesa [mm].

5 Vlastní výsledky

V této kapitole se budu věnovat průběhu samotnému měření mrazuvzdornosti, které bylo zpracováno dle metodiky uvedené v předchozích kapitolách. Zkušební prostředí nebylo vždy laboratorního rázu, probíhalo i v domácích podmínkách. Velkou výhodou bylo, že jsem mohl vzorky sledovat neustále a nebyl jsem omezen jen na prostory laboratoře.

5.1 Složení směsi

Moje práce byla ulehčena tím, že jsem nemusel hledat ideální složení omítky a použil jsem již připravenou pytlouvanou omítku. Omítky byly ze série ECONOM od firmy PICAS.

„Série ECONOM je vyráběna z čistě přírodních hnědých jílu, tříděných písků a organických vláken.“ [7]

Začátkem přípravy vzorků bylo určit optimální poměr směsi vody a hliněné omítky. Já jsem se rozhodl pro poměr 1:5 pro hrubou omítku a 1:6 pro jemnou omítku, se kterým se mi nejlépe pracovalo. Jemná omítky byla při poměru 1:5 strašně řídká a nedalo se s ní dobře pracovat.

Zastoupení polymerů ve směsi bylo určeno [%] na 0,1; 0,5 u hrubé omítky a 1; 2 % u omítky jemné. Dále byly používány polymery E a F v různých kombinacích. Tyto kombinace byly 0,1+0,05; 0,5+0,05; 0,5+0,1; 0,5+0,25; 0,5+0,5; 1+0,25; 2+0,5. I takto malé zastoupení polymerů způsobilo rozdílnost zpracovatelnosti směsi. S přibývajícím množstvím polymeru se se směsí pracovalo lépe.

Vlastnosti jednotlivých polymerů:

- Polymer A – směs tvořena omítkou a disperzním polymerem se silným hydrofobním účinkem na bázi vinyl-acetát, vinyl-ester a ethen.
- Polymer B – směs tvořena omítkou a disperzním polymerem s hydrofobním účinkem na bázi ethen, vinyl-laurát a vinyl-chlorid.
- Polymer C – směs tvořena omítkou a disperzním polymerem se silným hydrofobním účinkem na bázi vinyl-chlorid, ethen, vinyl-laurát.
- Polymer D – směs tvořena omítkou a disperzním polymerem na bázi vinyl-acetát a ethen (jehož je velký podíl)
- Polymer E+F – směs tvořena omítkou, kopolymerem na bázi vinyl-acetát a ethen, a třetí složkou směsi je vodou redispersovatelné silikonové vodoodpudivé aditivum.

5.1.1 Hrubá omítka

Jednalo se o čistě přírodní hliněnou omítku určenou k vnitřnímu použití. Tím, že jsem jí poté stabilizoval, byla optimalizována na použití ve venkovním prostředí. V tabulce níže jsou uvedeny technické parametry směsi.

Tabulka 5: Technické parametry hrubé hliněné omítky ECONOM

Zrnitost	0-4,0 mm
Barva	přírodní hnědá
Doporučená síla vrstvy	10-15 mm
Objemová hmotnost	1760 kg/m ³
spotřeba materiálu na 1 cm omítky	18 kg/m ³
Faktor difúzního odporu	1,3 μ
Pevnost v talku	1,4 MPa
Spotřeba vody	0,16-0,20 l/kg

Hrubá omítka s obsahem polymeru 0,1 %:

Hrubá pytlovaná omítka série ECONOM: 3 500 g

Voda: 700 ml

Polymer A, B, C, D: 3,5 g

Hrubá omítka s obsahem polymeru 0,5 %:

Hrubá pytlovaná omítka série ECONOM: 3 500 g

Voda: 700 ml

Polymer A, B, C, D: 17,5 g

Hrubá omítka s obsahem polymeru 0,1+0,05 %:

Hrubá pytlovaná omítka série ECONOM: 3 500 g

Voda: 700 ml

Polymer E+F: 3,5+1,75 g

Hrubá omítka s obsahem polymeru 0,5+0,05 %:

Hrubá pytlovaná omítka série ECONOM: 3 500 g

Voda: 700 ml

Polymer E+F: 17,5+1,75 g

Hrubá omítka s obsahem polymeru 0,5+0,1%:

Hrubá pytlovaná omítka série ECONOM: 3 500 g

Voda: 700 ml

Polymer E+F: 17,5+3,5 g

Hrubá omítka s obsahem polymeru 0,5+0,25 %:

Hrubá pytlovaná omítka série ECONOM: 3 500 g

Voda: 700 ml

Polymer E+F: 17,5+8,75 g

Hrubá omítka s obsahem polymeru 0,5+0,5 %:

Hrubá pytlovaná omítka série ECONOM: 3 500 g

Voda: 700 ml

Polymer E+F: 17,5+17,5 g

5.1.2 Jemná omítka

Jednalo se o čistě přírodní hliněnou omítku určenou k vnitřnímu použití. Tím, že jsem jí poté stabilizoval, byla optimalizována na použití ve venkovním prostředí. V tabulce níže jsou uvedeny technické parametry směsi.

„Série ECONOM je vyráběna z čistě přírodních hnědých jílu, tříděných písků a organických vláken. Pigmentovaná řada je tvořena sérií osmi barev“
[7]

Tabulka 6: Technické parametry jemné hliněné omítky ECONOM

Zrnitost	0-1,0 mm
Barva	přírodní hnědá
Doporučená síla vrstvy	2-3 mm
Objemová hmotnost	1734 kg/m ³
spotřeba materiálu na 1 cm omítky	7,5 kg/m ³
Faktor difúzního odporu	3,3 μ
Pevnost v talku	0,8 MPa
Spotřeba vody	0,14-0,18 l/kg

Po zjištění poměru vody a hliněné omítky, bylo finální složení takovéto:

Jemná omítka s obsahem polymeru 1 %:

Jemná pytlovaná omítka série ECONOM: 3 500 g

Voda: 580 ml

Polymer A, B, C, D: 35 g

Jemná omítka s obsahem polymeru 2 %:

Jemná pytlovaná omítka série ECONOM: 3 500 g

Voda: 580 ml

Polymer A, B, C, D: 70 g

Jemná omítka s obsahem polymeru 1+0,25 %:

Jemná pytlovaná omítka série ECONOM: 3 500 g

Voda: 580 ml

Polymer E+F: 35+8,75 g

Jemná omítka s obsahem polymeru 2+0,5 %:

Jemná pytlovaná omítka série ECONOM: 3 500 g

Voda: 580 ml

Polymer E+F: 75+17,5 g

5.2 Výroba vzorků

Omítka se smíchá s vodou v předepsaném poměru v bubnové míchačce nebo v kbelíku pomocí míchacího zařízení. Po prvním důkladném rozmíchání se směs nechá odstát 3-5 minut a následně se provede závěrečné promíchání s polymerem. Po promíchání s polymerem se nechala směs odstát 10 minut.

Formy na zkušební vzorky byly vymazány silikonovým olejem, aby se zamezilo přilepení vzorku na stěnu formy. Směs dávkujeme po částech a po každé dávce důkladně zhutníme vrstvu po vrstvě. Po naplnění forem směsí, hladítkem upravíme vrchní hranu a dáme vzorek vyschnout minimálně po dobu 28 dní.



Obrázek 5.1: Vážení surovin pro výrobu směsi



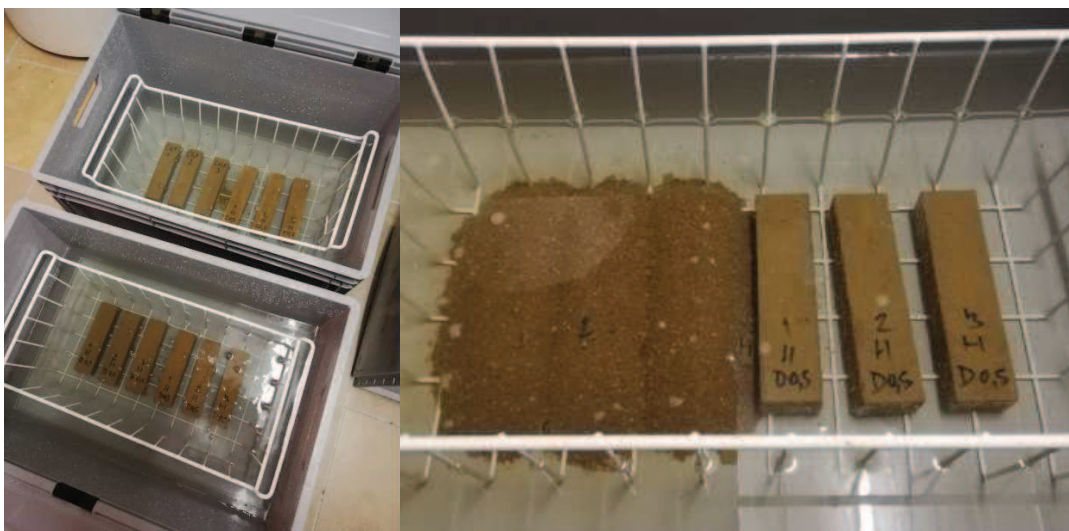
Obrázek 5.2: Univerzální kuchyňský robot SP-800A a umíchaná omítková směs

5.3 Zkouška mrazuvzdornost

5.3.1 Mrazící cykly

Po odbednění vzorků a jejich dostatečném vyschnutí (doba sušení byla minimálně 28 dní), jsem provedl vážení vzorků, abych věděl, jaká je počáteční hmotnost vzorku, (informace potřebná pro v pozdější fázi).

V 1. fázi je potřeba nechat zkušební vzorky ponořené 24 hodin alespoň 5 cm pod vodní hladinou, aby měl vzorek dostatečnou dobu k nasáknutí vody. Všechny nejméně stabilizované vzorky, které měly zastoupení polymeru 0,1 % respektive 0,1+0,05 nevydržely tento proces ani celou hodinu. Zřetelně je to vidět na obrázku níže, kde jsou vzorky se zastoupením 0,1 % a 0,5 % polymeru D. Zatímco vzorek s 0,5 % vydržel 24 hodin, vzorek s 0,1 % zvládl pouhých 34 minut.



Obrázek 5.3: Namáčení vzorků

Po 24-hodinovém namáčení, byly vzorky přesunuty do mrazáku, kde jsem nastavil teplotu na požadovaných $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zde vzorky setrvaly minimálně 4 hodiny. Po uplynutí této doby, jsem vzorky opět ponořil do vodní lázně na minimální dobu 2 hodin, aby bylo zajištěno řádné rozmrznutí. Tento cyklus se opakoval dvakrát. Po druhé zmrazovací etapě jsem umístil vzorky do stabilního prostředí, kde dalších minimálních 28 dní vysychaly. Tím bude zaručeno, že budou vzorky dostatečně suché.



Obrázek 5.4: Mražení vzorků

Tabulka 7: Stav vzorků stabilizovaných polymery A-D po mrazících cyklech

	A	B	C	D
0,1 %	KO	KO	KO	KO
0,5 %	OK	KO	KO	OK
1 %	OK	OK	OK	OK
2 %	OK	OK	OK	OK

Tabulka 8 Stav vzorků stabilizovaných polymery E+F po mrazících cyklech

	E+F
0,1+0,05	KO
0,5+0,05	KO
0,5+0,1	OK
0,5+0,25	OK
0,5+0,5	OK
1+0,25	OK
2+0,5	OK

5.3.2 Zkouška třibodového tahu za ohybu

Jak jsem již popisoval v kapitole 4.1, tak probíhá ověření mrazuvzdornosti tím, že všechny vzorky, které přežily zmrazovací cykly podrobím třibodové zkoušce tahu za ohybu. Díky tomu zjistím, jaký pokles pevnosti bude oproti referenčním vzorkům, a budu moci tuto zkoušku vyhodnotit.

Zkouška probíhala v experimentálním centru, kde jsem měl k dispozici hydraulický lis. Lis se musel nastavit na největší citlivost, jelikož pevnosti hlíny v tahu nedosahují zdaleka takových hodnot jako jiné stavební materiály.

Vzorky jsem před zatěžováním změřil elektronickou šuplerou a znovu zvažil. Tím, že byla hmotnost stejná, jako před zmrazovací zkouškou jsem se ujistil, že je vzorek dostatečně vyschnutý a jeho zbytková vlhkost neovlivní měření.

Z naměřených hodnot jsem potom vycházel v další kapitole při výpočtu objemové hmotnosti, která má na mrazuvzdornost zásadní vliv.



Obrázek 5.5: Detail lisovacího zařízení



Obrázek 5.6: Lisovací zařízení

5.3.3 Rozměry, hmotnosti a objemové hmotnosti vzorků

Tabulka 9: Omítka stabilizovaná polymerem A

A		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
0,1	délka	nezvládly průběh zkoušky			156,91	156,98	156,91
	výška				39,21	39,29	39,21
	šířka				39,3	39,26	39,31
	hmotnost				446,4	450,0	455,0
	objemová hmotnost				1846	1858	1881

A		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
0,5	délka	156,14	156,7	156,21	156,02	156,13	155,93
	výška	39,52	38,78	38,79	39,85	39,76	39,48
	šířka	39,41	39,5	39,57	39,48	39,45	39,56
	hmotnost	446,0	439,8	440,1	443,9	448,9	444,5
	objemová hmotnost	1834	1832	1836	1808	1833	1825

A		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
1	délka	157,34	157,29	157,85	157,28	157,79	157,65
	výška	39,48	39,77	39,99	39,6	39,7	39,49
	šířka	39,48	39,43	39,56	39,56	39,21	39,27
	hmotnost	414,3	413,2	416,1	415,5	415,3	414,2
	objemová hmotnost	1688	1675	1666	1686	1690	1694

A		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
2	délka	157,77	157,93	157,84	157,84	158,26	158,09
	výška	39,43	39,07	38,82	38,3	38,34	38,23
	šířka	39,62	39,6	39,45	39,56	39,42	39,54
	hmotnost	339,6	332,9	331,8	323,4	323,1	324,6
	objemová hmotnost	1378	1362	13723	1352	1351	1358

Tabulka 10: Omítka stabilizovaná polymerem B

B		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
0,1	délka	nezvládly průběh zkoušky			157,93	157,79	157,78
	výška				39,06	39,36	39,5
	šířka				39,37	39,75	39,7
	hmotnost				445,4	446,0	449,6
	objemová hmotnost				1834	1807	1817

B		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
0,5	délka	nezvládly průběh zkoušky			157,47	157,61	157,51
	výška				39,83	40,1	39,7
	šířka				39,44	39,49	39,47
	hmotnost				452,3	453,6	448,0
	objemová hmotnost				1828	1817	1815

B		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
1	délka	155,6	155,11	155,43	156,12	155,96	156,33
	výška	39,82	40,15	39,95	40,29	40,2	41,43
	šířka	38,86	39,04	39,22	39,05	39,03	39,25
	hmotnost	438,0	437,2	423,9	436,9	437,4	446,6
	objemová hmotnost	1819	1798	1741	1779	1787	1757

B		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
2	délka	154,4	154,24	154,57	154,83	154,57	154,31
	výška	40,35	39,48	39,07	39,82	39,86	39,68
	šířka	38,83	38,34	38,94	38,5	38,75	38,73
	hmotnost	352,9	361,3	359,8	353,9	353,4	357,8
	objemová hmotnost	1459	1548	1530	1491	1480	1509

Tabulka 11: Omítka stabilizovaná polymerem C

C		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
0	délka	nezvládly průběh zkoušky			157,98	158,13	158,16
	výška				39,71	39,91	39,08
	šířka				39,45	39,42	39,66
	hmotnost				452,3	453,5	445,8
	objemová hmotnost				1828	1823	1819

C		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
1	délka	nezvládly průběh zkoušky			157,51	157,75	157,81
	výška				39,20	39,05	38,98
	šířka				39,41	39,24	39,40
	hmotnost				431,16	425,10	423,1
	objemová hmotnost				1771,9	1758,6	1745,7

C		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
1	délka	154,91	155,34	154,89	154,86	155,48	155,25
	výška	40,43	40,4	40,66	40,22	39,84	40,4
	šířka	39,15	39,27	39,1	38,96	39,14	39,02
	hmotnost	426,2	429,3	429,6	431,0	419,0	437,0
	objemová hmotnost	1738	1742	1745	1776	1728	1786

C		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
2	délka	155,34	155,42	155,69	156,16	155,72	155,73
	výška	38,92	39,51	38,76	39,08	39,85	39,4
	šířka	38,64	38,78	38,9	38,59	38,59	38,71
	hmotnost	339,6	339,5	340,7	322,2	330,8	329,0
	objemová hmotnost	1454	1426	1451	1368	1381	1385

Tabulka 12 Omítka stabilizovaná polymerem D

D		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
0,1	délka	nezvládly průběh zkoušky			157,4	157,51	157,88
	výška				39,57	40,05	40,16
	šířka				39,48	39,64	39,67
	hmotnost				464,8	469,2	469,0
	objemová hmotnost				1890	1876	1865

D		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
0,5	délka	157,55	158,4	158,23	157,44	157,43	157,67
	výška	39,4	39,96	38,94	39,41	39,62	39,08
	šířka	39,43	39,51	39,4	39,46	39,21	39,31
	hmotnost	447,6	458,1	441,6	449,9	451,6	450,9
	objemová hmotnost	1829	1832	1819	1838	1847	1862

D		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
1	délka	155,66	155,49	155,39	156,16	156,11	155,88
	výška	40,27	40,66	40,27	40,47	40,25	39,98
	šířka	38,76	38,96	38,8	39,2	39,47	39,21
	hmotnost	436,2	432,3	435,4	431,6	437,8	436,5
	objemová hmotnost	1795	1755	1793	1742	1765	1786

D		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
2	délka	154,82	155,56	154,98	156,75	156,89	156,7
	výška	39,42	39,26	39,53	38,93	39,37	39,42
	šířka	38,72	38,62	39,06	38,48	38,55	38,94
	hmotnost	385,6	376,1	385,5	384,4	381,1	387,7
	objemová hmotnost	1632	1595	1611	1637	1600	1612

Tabulka 13 Omítka stabilizovaná polymery E+F

E+F		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
0,1+0,05	délka	nezvládly průběh zkoušky			159,1	159,24	159,12
	výška				39,71	40,24	40,91
	šířka				38,93	39,15	39,23
	hmotnost				472,9	476,2	478,3
	objemová hmotnost				1923	1898	1873

E+F		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
0,5+0,05	délka	nezvládly průběh zkoušky			158,98	159,05	158,92
	výška				39,76	40,11	40,532
	šířka				38,78	39,45	39,58
	hmotnost				463,2	465,8	464,3
	objemová hmotnost				1890	1851	1821

E+F		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
0,5+0,01	délka	157,1	157	157,43	157,29	156,93	157,16
	výška	38,55	39,53	38,82	39,35	39,08	39,71
	šířka	39,31	39,62	39,4	39,56	39,51	39,29
	hmotnost	446,1	452,6	444,9	453,5	446,1	452,3
	objemová hmotnost	1874	1841	1848	1852	1841	1845

E+F		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
0,5+0,25	délka	156,52	156,96	156,32	156,17	156,64	155,77
	výška	40,05	40,23	39,66	39,41	39,09	39,17
	šířka	38,77	38,87	39,03	38,84	38,9	38,94
	hmotnost	446,1	450,9	443,1	451,2	451,4	451,4
	objemová hmotnost	1836	1837	1831	1887	1895	1900

E+F		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
0,5+0,5	délka	156,5	156,28	157,22	156,92	156,32	157,57
	výška	38,88	38,07	38,77	38,4	39,16	38,43
	šířka	38,74	38,86	38,92	38,77	38,83	39,15
	hmotnost	426,0	419,0	430,8	434,6	438,3	430,5
	objemová hmotnost	1807	1812	1816	1860	1844	1816

E+F		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
1+0,25	délka	155,28	155,29	155,28	155,78	155,22	154,63
	výška	39,10	39,38	39,13	39,28	39,94	39,32
	šířka	38,72	38,86	38,78	38,75	38,93	38,73
	hmotnost	389,8	385,4	388,	386,10	387,8	384,7
	objemová hmotnost	1658	1622	1647	1628	1607	1634

E+F		zkušební vzorky			referenční		
		1	2	3	4	5	6
2+0,5	délka	154,60	154,40	154,16	154,28	154,26	154,31
	výška	38,48	38,43	39,15	38,93	39,10	38,33
	šířka	38,80	38,78	38,60	39,15	38,78	38,97
	hmotnost	386,7	389,6	388,5	393,2	394,1	388,6
	objemová hmotnost	1675	1693	1668	1672	1685	1686

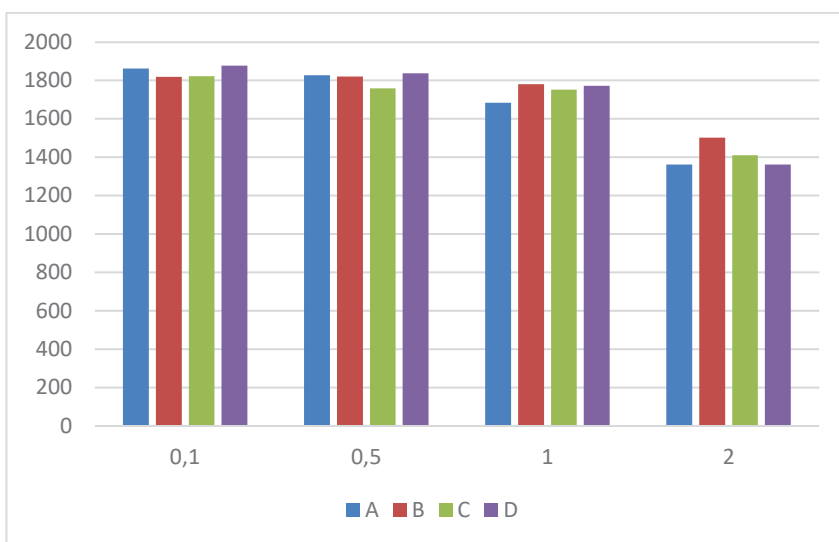
Jeden z nejdůležitějších aspektů u hliněných omítek je objemová hmotnost, která může výrazně ovlivňovat jejich odolnosti vůči mrazu. Jak jsem uváděl v kapitole 2.2.6 u eroze působením mrazu. Čím více je pórovitá, tak tím větší možnost rozpínání má voda uvnitř materiálu a díky tomu materiál lépe odolává silám, které způsobuje rozpínání vody.

Zde je na grafech vidět, jak větší množství polymerů příznivě ovlivňuje objemovou hmotnost vzorků. I při samotném zpracování směsi bylo vidět, že je směs s větším zastoupením polymerů „našlehanější“. Lépe se připravovala, ale hůře se hutnila.

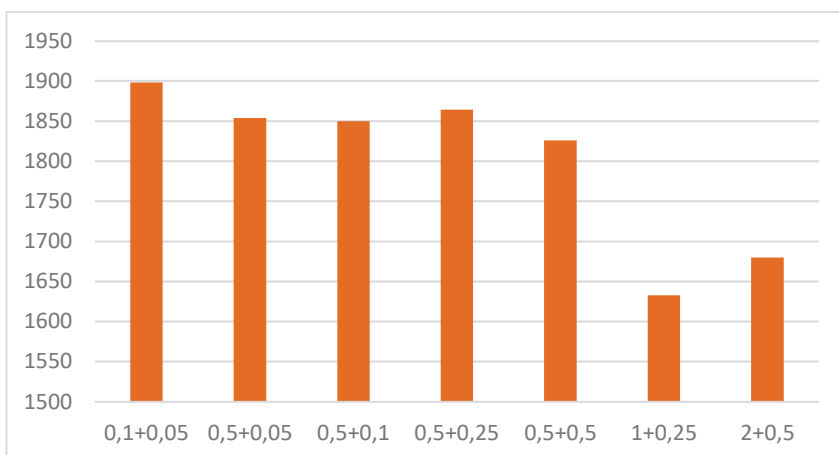
Částečně k objemové hmotnosti přispělo i složení omítkové směsi, protože jemná omítka použitá pro 1 % a 2 % měla o 26 kg/m³ lehčí omítkovou směs.

U vzorku, který byl stabilizován 2 % + 0,5 % polymery E a F, je zajímavé, že u něj došlo opět k nárůstu objemové hmotnosti. Jak se bude zřejmé v pozdější fázi, tak byl tento vzorek i ze všech nejpevnější. Pravděpodobně to bylo tím, že díky tomuto poměru získal lepší zpracovatelnost a zhutnitelnost. To mohlo zapříčinit, že rapidně vzrostla pevnost těchto vzorků v tahu.

Graf 1: objemová hmotnost vzorků A-D



Graf 2: objemová hmotnost vzorků E+F



5.3.4 Pevnost v tahu za ohybu

Tabulka 14: Omítka stabilizovaná polymerem A

A 0,1	zkušební vzorky			referenční		
	1	2	3	4	5	6
F [N]	nezvládly průběh zkoušky			0,51	0,47	0,52
l [mm]				100	100	100
d ₁ [mm]				39,3	39,26	39,31
d ₂ [mm]				39,21	39,29	39,21
f _{cf} [MPa]				1,27	1,16	1,29
øf _{cf} [MPa]	0,00			1,24		

A 0,5	zkušební vzorky			referenční		
	1	2	3	4	5	6
F [N]	0,71	0,63	0,68	0,74	0,72	0,78
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	39,41	39,5	39,57	39,48	39,45	39,56
d ₂ [mm]	39,52	38,78	38,79	39,85	39,76	39,48
f _{cf} [kPa]	1,73	1,59	1,71	1,77	1,73	1,90
øf _{cf} [MPa]	1,68			1,80		

A 1	zkušební vzorky			referenční		
	1	2	3	4	5	6
F [N]	1,2	1,14	1,13	1	1,18	1,16
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	39,48	39,43	39,56	39,56	39,21	39,27
d ₂ [mm]	39,48	39,77	39,99	39,6	39,7	39,49
f _{cf} [MPa]	2,93	2,74	2,68	2,42	2,86	2,84
øf _{cf} [MPa]	2,78			2,71		

A 2	zkušební vzorky			referenční		
	1	2	3	4	5	6
F [N]	0,91	0,91	0,91	0,76	0,72	0,78
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	39,62	39,6	39,45	39,56	39,42	39,54
d ₂ [mm]	39,43	39,07	38,82	38,3	38,34	38,23
f _{cf} [MPa]	2,22	2,26	2,30	1,96	1,86	2,02
øf _{cf} [MPa]	2,26			1,95		

Tabulka 15: Omítka stabilizovaná polymerem B

	zkušební vzorky			referenční		
B 0,1	1	2	3	4	5	6
F [N]	nezvládly průběh zkoušky			0,41	0,39	0,43
l [mm]				100	100	100
d ₁ [mm]				39,37	39,75	39,7
d ₂ [mm]				39,06	39,36	39,5
f _{cf} [MPa]				1,02	0,95	1,04
øf _{cf} [MPa]	0,00			1,01		

	zkušební vzorky			referenční		
B 0,5	1	2	3	4	5	6
F [N]	nezvládly průběh zkoušky			0,67	0,58	0,6
l [mm]				100	100	100
d ₁ [mm]				39,44	39,49	39,47
d ₂ [mm]				39,83	40,1	39,7
f _{cf} [kPa]				1,61	1,37	1,45
øf _{cf} [MPa]	0,00			1,47		

	zkušební vzorky			referenční		
B 1	1	2	3	4	5	6
F [N]	0,86	0,8	0,72	0,79	0,83	0,78
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	38,86	39,04	39,22	39,05	39,03	39,25
d ₂ [mm]	39,82	40,15	39,95	40,29	40,2	41,43
f _{cf} [MPa]	2,09	1,91	1,73	1,87	1,97	1,74
øf _{cf} [MPa]	1,91			1,86		

	zkušební vzorky			referenční		
B 2	1	2	3	4	5	6
F [N]	1,17	1,12	1,1	0,96	0,91	1
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	38,83	38,34	38,94	38,5	38,75	38,73
d ₂ [mm]	40,35	39,48	39,07	39,82	39,86	39,68
f _{cf} [MPa]	2,78	2,81	2,78	2,36	2,22	2,46
øf _{cf} [MPa]	2,79			2,35		

Tabulka 16: Omítka stabilizovaná polymerem C

	zkušební vzorky			referenční		
C 0,1	1	2	3	4	5	6
F [N]	nezvládly průběh zkoušky			0,43	0,4	0,41
l [mm]				100	100	100
d ₁ [mm]				39,45	39,42	39,66
d ₂ [mm]				39,71	39,91	39,08
f _{cf} [MPa]				1,04	0,96	1,02
øf _{cf} [MPa]				0,00		

	zkušební vzorky			referenční		
C 0,5	1	2	3	4	5	6
F [N]	nezvládly průběh zkoušky			0,51	0,55	0,54
l [mm]				100	100	100
d ₁ [mm]				39,41	39,24	39,4
d ₂ [mm]				39,2	39,05	38,98
f _{cf} [kPa]				1,26	1,38	1,35
øf _{cf} [MPa]				0,00		

	zkušební vzorky			referenční		
C 1	1	2	3	4	5	6
F [N]	0,71	0,64	0,69	0,78	0,7	0,77
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	39,15	39,27	39,1	38,96	39,14	39,02
d ₂ [mm]	40,43	40,4	40,66	40,22	39,84	40,4
f _{cf} [MPa]	1,66	1,50	1,60	1,86	1,69	1,81
øf _{cf} [MPa]	1,59			1,79		

	zkušební vzorky			referenční		
C 2	1	2	3	4	5	6
F [N]	0,6	0,59	0,55	0,59	0,57	0,5
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	38,64	38,78	38,9	38,59	38,59	38,71
d ₂ [mm]	38,92	39,51	38,76	39,08	39,85	39,4
f _{cf} [MPa]	1,54	1,46	1,41	1,50	1,40	1,25
øf _{cf} [MPa]	1,47			1,38		

Tabulka 17: Omítka stabilizovaná polymerem D

	zkušební vzorky			referenční		
D 0,1	1	2	3	4	5	6
F [N]	nezvládly průběh zkoušky			0,55	0,57	0,51
l [mm]				100	100	100
d ₁ [mm]				39,48	39,64	39,67
d ₂ [mm]				39,57	40,05	40,16
f _{cf} [MPa]				1,33	1,34	1,20
øf _{cf} [MPa]	0,00			1,29		

	zkušební vzorky			referenční		
D 0,5	1	2	3	4	5	6
F [N]	0,67	0,62	0,66	0,68	0,68	0,69
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	39,43	39,51	39,4	39,46	39,21	39,31
d ₂ [mm]	39,4	39,96	38,94	39,41	39,62	39,08
f _{cf} [kPa]	1,64	1,47	1,66	1,66	1,66	1,72
øf _{cf} [MPa]	1,59			1,68		

	zkušební vzorky			referenční		
D 1	1	2	3	4	5	6
F [N]	0,9	0,97	0,87	0,91	0,9	1
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	38,76	38,96	38,8	39,2	39,47	39,21
d ₂ [mm]	40,27	40,66	40,27	40,47	40,25	39,98
f _{cf} [MPa]	2,15	2,26	2,07	2,13	2,11	2,39
øf _{cf} [MPa]	2,16			2,21		

	zkušební vzorky			referenční		
D 2	1	2	3	4	5	6
F [N]	1,2	1,14	1,18	1,2	1,08	1,21
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	38,72	38,62	39,06	38,48	38,55	38,94
d ₂ [mm]	39,42	39,26	39,53	38,93	39,37	39,42
f _{cf} [MPa]	2,99	2,87	2,90	3,09	2,71	3,00
øf _{cf} [MPa]	2,92			2,93		

Tabulka 18: Omítka stabilizovaná polymery E+F

E 0,1+F 0,05	zkušební vzorky			refereneční		
	1	2	3	4	5	6
F [N]	nezvládly průběh zkoušky			0,47	0,52	0,49
l [mm]				100	100	100
d ₁ [mm]				38,93	39,15	39,23
d ₂ [mm]				39,71	40,24	40,91
f _{cf} [MPa]				1,15	1,23	1,12
øf _{cf} [MPa]				0,00		

E0,5 + F0,05	zkušební vzorky			referenční		
	1	2	3	4	5	6
F [N]	nezvládly průběh zkoušky			0,55	0,57	0,6
l [mm]				100	100	100
d ₁ [mm]				38,78	39,45	39,58
d ₂ [mm]				39,76	40,11	40,532
f _{cf} [kPa]				1,35	1,35	1,38
øf _{cf} [MPa]				0,00		

E0,5 + F0,1	zkušební vzorky			referenční		
	1	2	3	4	5	6
F [N]	0,6	0,62	0,58	0,76	0,71	0,71
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	39,31	39,62	39,4	39,56	39,51	39,29
d ₂ [mm]	38,55	39,53	38,82	39,35	39,08	39,71
f _{cf} [MPa]	1,54	1,50	1,47	1,86	1,76	1,72
øf _{cf} [MPa]	1,50			1,78		

E0,5 + F0,25	zkušební vzorky			referenční		
	1	2	3	4	5	6
F [N]	0,73	0,71	0,7	0,79	0,72	0,8
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	38,77	38,87	39,03	38,84	38,9	38,94
d ₂ [mm]	40,05	40,23	39,66	39,41	39,09	39,17
f _{cf} [MPa]	1,76	1,69	1,71	1,96	1,82	2,01
øf _{cf} [MPa]	1,72			1,93		

E0,5 + F0,5	zkušební vzorky			referenční		
	1	2	3	4	5	6
F [N]	0,76	0,71	0,72	0,88	0,86	0,83
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	38,74	38,86	38,92	38,77	38,83	39,15
d ₂ [mm]	38,88	38,07	38,77	38,4	39,16	38,43
f _{cf} [MPa]	1,95	1,89	1,85	2,31	2,17	2,15
øf _{cf} [MPa]	1,89			2,21		

E1 + F0,25	zkušební vzorky			referenční		
	1	2	3	4	5	6
F [N]	1	0,93	1	0,95	0,9	0,9
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	38,72	38,86	38,78	38,75	38,93	38,73
d ₂ [mm]	39,1	39,38	39,13	39,28	39,94	39,32
f _{cf} [MPa]	2,53	2,31	2,53	2,38	2,17	2,25
øf _{cf} [MPa]	2,46			2,27		

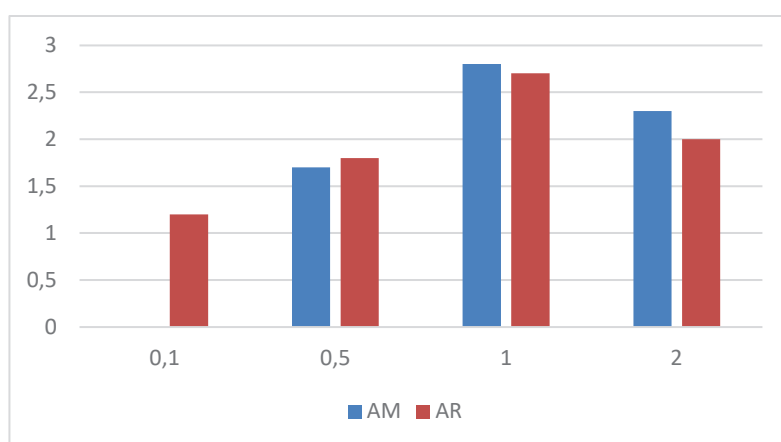
E2 + F0,5	zkušební vzorky			referenční		
	1	2	3	4	5	6
F [N]	1,9	1,95	1,93	1,98	1,99	1,93
l [mm]	100	100	100	100	100	100
d ₁ [mm]	38,8	38,78	38,6	39,15	38,78	38,97
d ₂ [mm]	38,48	38,43	39,15	38,93	39,1	38,33
f _{cf} [MPa]	4,96	5,11	4,89	5,01	5,03	5,06
øf _{cf} [MPa]	4,99			5,03		

5.4 Výsledky zkoušky

Tabulka 19: Mrazuvzdornost omítky stabilizované polymerem A

A	zkušební vzorky		referenční vzorky
	σ_{fcf} [MPa]	% f_{cf}	σ_{fcf} [MPa]
0,1	0,0	0,0 %	1,2
0,5	1,7	93,2 %	1,8
1	2,8	102,7 %	2,7
2	2,3	115,7 %	2,0

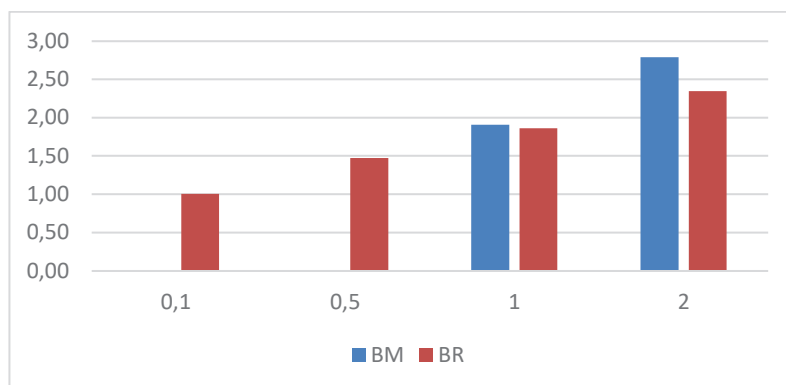
Graf 3: Pevnost omítky stabilizované polymerem A



Tabulka 20: Mrazuvzdornost omítky stabilizované polymerem B

B	zkušební vzorky		referenční vzorky
	σ_{fcf} [MPa]	% f_{cf}	σ_{fcf} [MPa]
0,1	0	0 %	1,01
0,5	0	0 %	1,47
1	1,91	103 %	1,86
2	2,79	119 %	2,35

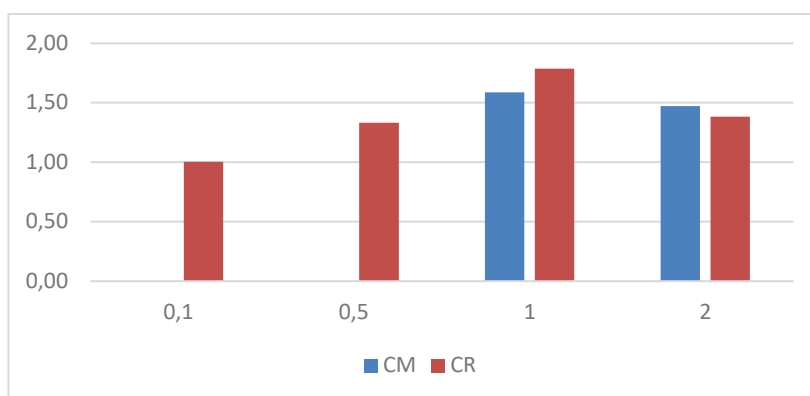
Graf 4: Pevnost omítky stabilizované polymerem B



Tabulka 21: Mrazuvzdornost omítky stabilizované polymerem C

C	zkušební vzorky		referenční vzorky
	σ_{fcf} [MPa]	% f_{cf}	σ_{fcf} [MPa]
0,1	0	0 %	1,00
0,5	0	0 %	1,33
1	1,59	89 %	1,79
2	1,47	106 %	1,38

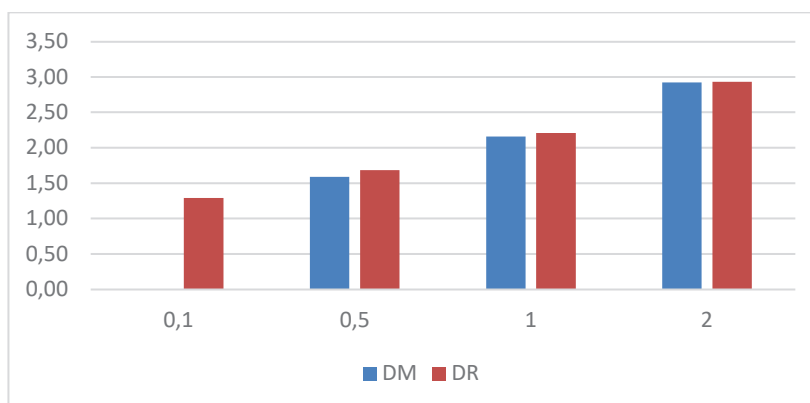
Graf 5: Pevnost omítky stabilizované polymerem C



Tabulka 22: Mrazuvzdornost omítky stabilizované polymerem D

D	zkušební vzorky		referenční vzorky
	σ_{fcf} [MPa]	% f_{cf}	σ_{fcf} [MPa]
0,1	0	0 %	1,29
0,5	1,59	95 %	1,68
1	2,16	98 %	2,21
2	2,92	100 %	2,93

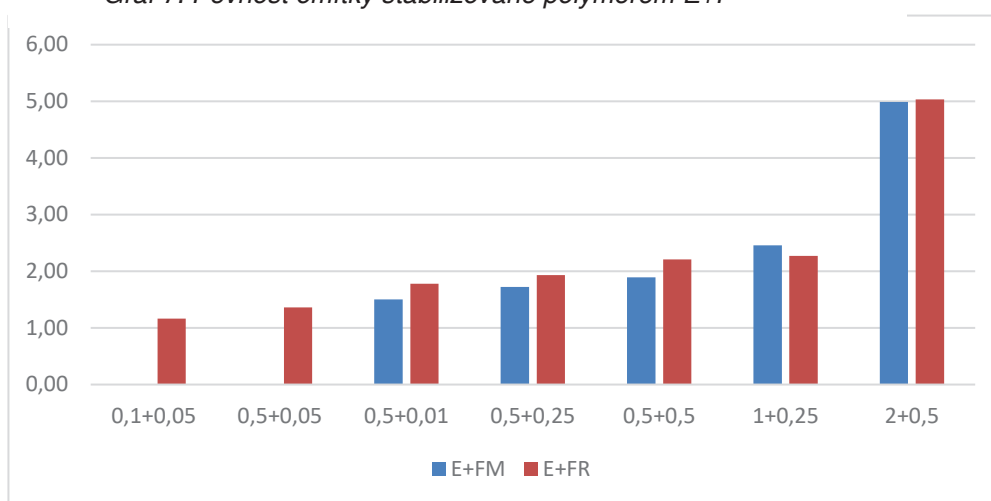
Graf 6: Pevnost omítky stabilizované polymerem D



Tabulka 23: Mrazuvzdornost omítky stabilizované polymerem E+F

E+F	zkušební vzorky		referenční vzorky
	∅f _{cf} [MPa]	% f _{cf}	∅f _{cf} [MPa]
0,1+0,05	0,00	0,0 %	1,17
0,5+0,05	0,00	0,0 %	1,36
0,5+0,01	1,50	84,3 %	1,78
0,5+0,25	1,72	89,2 %	1,93
0,5+0,5	1,89	85,7 %	2,21
1+0,25	2,46	108,3 %	2,27
2+0,5	4,99	99,1 %	5,03

Graf 7: Pevnost omítky stabilizované polymerem E+F



5.5 Diskuze

Naměřené hodnoty přinesly vskutku zajímavé výsledky. Moje očekávání bylo, že se pevnost vzorků sníží na hodnotu mezi 75–100 % a dojde k závěru, že je hliněná omítka stabilizovaná polymery mrazuvzdorná. U některých vzorků k tomu skutečně došlo.

Materiál se dá označit za mrazuvzdorný v případě, že jeho pevnost neklesne po zmrazovacích cyklech o více než 25 %. Jak můžeme vidět v tabulkách v kapitole 5.4, tak u všech vzorků, které vydržely zmrazovací cykly, nedošlo ke snížení jejich pevnosti o více než 25 %. Naopak se u některých vzorků jejich pevnost dokonce zvýšila.

Můžeme se pouze domnívat, co bylo příčinou. Je možné, že došlo ke zlepšení vlastností primárního (jílu) nebo sekundárního (polymerů) pojiva. V každém případě by tento poznatek vyžadoval další zkoumání.

6 Přínosy

Jako největší přínos mé práce vidím zjištění, že u hliněných omítek stabilizovaných polymery, může dojít při správném složení k tomu, že zvládnou odolávat nepříznivým vlivům okolního prostředí. To byl můj cíl a jsem rád, že se mi podařilo ověřit dosud neprobádanou vlastnost hliněných omítek.

Všechny omítky, které jsem používal, mají sloužit primárně k vnitřnímu používání. Tyto omítky dokázaly odolat náročným podmínkám, kterým jsem je vystavil bez známky výrazného zhoršení. Naopak se dá říci, že jim tento proces pomohl.

Do praxe se dá proto uvažovat s použitím venkovních omítek stabilizovaných polymery beze strachu o to, že neodolají venkovním vlivům. Samozřejmě je potřeba i nadále tyto omítky chránit proti působení venkovních vlivů, protože je pevnost namočené omítky skoro neměřitelná. Po jejím vyschnutí jsou však její vlastnosti shodné s omítkou, kterým těmto vlivům vystavena nebyla.

7 Doporučení pro další postup

V dalším postupu by bylo dobré zaměřit se na to, aby se zjistilo, který proces zvýšil pevnost zkoumaných vzorků. Byl to proces namočení a následného vysušení nebo tam muselo dojít i k procesu vymrznutí? To jsou mé neznámé z této práce a bylo by dobré v budoucnosti zjistit, co zapříčinilo nárůst pevnosti u zkoumaných vzorků.

Samozřejmě by bylo dobré zjistit, zda jsou takto stabilizované omítky stejně dobře recyklovatelné jako běžné hliněné omítky bez přidaných syntetických pojiv.

8 Závěr

V diplomové práci bylo dosaženo cíle, který jsem si stanovil před započítím této práce. Dokázal jsem ověřit, že jsou hliněné omítky stabilizované polymerem schopné odolávat venkovním klimatickým podmínkám a jsou mrazuvzdorné.

8.1 Modifikovaná zkouška mrazuvzdornosti

Uvědomuji se, že nebyl dodržen přesný postup, který je stanoven normou. Nicméně specifické vlastnosti tohoto materiálu vyžadovaly použitý a jím odpovídající pracovní postup.

Během řešení diplomové práce jsem se bavil s kolegy z výzkumného zařízení UCEEB a k vývoji použitých zkušebních metod dochází v dnešní době téměř u všech materiálů. Původní ČSN jsou v některých aspektech zastaralé a je potřeba věnovat jejich modifikaci patřičnou pozornost.

8.2 Mrazuvzdornost hliněných omítek stabilizovaných polymery

Byly ověřeny popsány fyzikálně-mechanické vlastnosti testovaného materiálu, jako jsou pevnosti v tahu a mrazuvzdornost. Díky výsledkům je možné potvrdit, že je tento materiál mrazuvzdorný. Zadání práce jsem splnil a jsem velice rád, že jsem ji dovedl ke zdárnému konci.

9 Použitá literatura

[1] Ústav agrochemie a výživy rostlin | MZLU v Brně [online]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/jilove_minerally.html

[2] Tradiční technologie | Sdružení hliněného stavitelství. Sdružení hliněného stavitelství [online]. Dostupné z: <http://www.hlina.info/cs/hlinene-stavitelstvi/hlina-stavebni-material/tradicni-technologie.html>

[3] MINKE, Gernot. Příručka hliněného stavitelství: materiály – technologie – architektura. Bratislava: Pagoda, c2009. ISBN 978-80-969698-2-1.

[4] PROCHÁZKA, Michal. Venkovní hliněné omítky – novinka na světovém trhu. In: Sborník mezinárodní konference Zdravé domy 2010. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta architektury, 2010.

[5] ŠMARDOVÁ, Kateřina. Hliněné povrchy v současné architektuře [online]. Dostupné z: <https://www.core.ac.uk/download/pdf/30310705.pdf>

[6] Národní ústav lidové kultury – web Národního ústavu lidové kultury ve Strážnici a zámku Strážnice [online]. Copyright © [cit. 06.12.2019]. Dostupné z: <http://www.nulk.cz/wp-content/uploads/2017/03/podhoz.pdf>

[7] Hliněná omítka jemná – Picas. Hliněné omítky Picas – výroba, vývoj, prodej – Picas [online]. Dostupné z: <https://www.picas.cz/jemna-econom/>

NORMY

ČSN 73 1001 (731001) - *Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy*

ČSN 72 2452 (722452) - *Zkouška mrazuvzdornosti malty*

ČSN EN 12390-5 *Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*

10 Rejstříky

10.1 Seznam tabulek

Tabulka 1: Klasifikace zemin dle ČSN 73 1001	12
Tabulka 2: Tabulka pojivé schopnosti	19
Tabulka 3: Tabulka konzistence	21
Tabulka 4: Tabulka indexu plasticity I_P	22
Tabulka 5: Technické parametry hrubé hliněné omítky ECONOM	34
Tabulka 6: Technické parametry jemné hliněné omítky ECONOM ...	36
Tabulka 7: Stav vzorků stabilizovaných polymery A-D po mrazících cyklech	40
Tabulka 8 Stav vzorků stabilizovaných polymery E+F po mrazících cyklech	40
Tabulka 9: Omítka stabilizovaná polymerem A	43
Tabulka 10: Omítka stabilizovaná polymerem B	44
Tabulka 11: Omítka stabilizovaná polymerem C	45
Tabulka 12 Omítka stabilizovaná polymerem D	46
Tabulka 13 Omítka stabilizovaná polymery E+F	47
Tabulka 14: Omítka stabilizovaná polymerem A	50
Tabulka 15: Omítka stabilizovaná polymerem B	51
Tabulka 16: Omítka stabilizovaná polymerem C	52
Tabulka 17: Omítka stabilizovaná polymerem D	53
Tabulka 18: Omítka stabilizovaná polymery E+F	54
Tabulka 19: Mrazuvzdornost omítky stabilizované polymerem A	56
Tabulka 20: Mrazuvzdornost omítky stabilizované polymerem B	56
Tabulka 21: Mrazuvzdornost omítky stabilizované polymerem C	57

Tabulka 22: Mrazuvzdornost omítky stabilizované polymerem D..... 57

Tabulka 23: Mrazuvzdornost omítky stabilizované polymerem E+F.. 58

10.2 Seznam obrázků

Obrázek 2.1 Plasticitní diagram podle Casagrandeho (podle ČSN 73 1001) 13

Obrázek 2.2 Trojúhelníkový diagram pro částice do 60 mm (podle ČSN 73 1001) 13

Obrázek 2.3: Schéma staveb oktaedru 14

Obrázek 2.4 Schéma staveb tetraedru 14

Obrázek 4.1: Schéma zatížení při tříbodové zkoušce tahu za ohybu 32

Obrázek 5.1: Vážení surovin pro výrobu směsi 38

Obrázek 5.2: Univerzální kuchyňský robot SP-800A a umíchaná omítková směs 38

Obrázek 5.3: Namáčení vzorků 39

Obrázek 5.4: Mražení vzorků 40

Obrázek 5.5: Detail lisovacího zařízení 42

Obrázek 5.6: Lisovací zařízení 42

10.3 Seznam grafů

Graf 1: objemová hmotnost vzorků A-D..... 49

Graf 2: objemová hmotnost vzorků E+F 49

Graf 3: Pevnost omítky stabilizované polymerem A 56

Graf 4: Pevnost omítky stabilizované polymerem B 56

Graf 5: Pevnost omítky stabilizované polymerem C 57

Graf 6: Pevnost omítky stabilizované polymerem D 57

Graf 7: Pevnost omítky stabilizované polymerem E+F 58