

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2008

Jiří Matouš

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Stanovení základních mechanických vlastností cihelného zdiva v závislosti
na změně vlhkosti

Jiří Matouš

Bakalářská práce

2008

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravní infrastruktury
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří MATOUŠ**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní infrastruktura-Dopravní cesta**

Název tématu: **Stanovení základních mechanických vlastností cihelného zdiva v závislosti na změně vlhkosti**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Současný stav řešené problematiky, hodnocení jednotlivých metod a postupů
2. Experimentální řešení - laboratorní zkoušky
3. Písemný elaborát o průběhu laboratorních zkoušek
4. Vyhodnocení zkoušek
5. Zhodnocení výsledků, diskuse
6. Fotodokumentace
7. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Český normalizační institut, ČSN P 730610 Česká technická norma Hydroizolace staveb, Sanace vlhkého zdiva – základní ustanovení, (2000)

Hozák Z., Kupka F. & Šindelář V.: Základy technické fyziky, Praha 1955
ČSN 73 00 38 - Navrhování a posuzování konstrukcí při přestavbách, Praha 1986,

Havel, M.: Sanace vlhkého zdiva, Stavební listy 11-12/2006, str.16 (1.část) a Stavební listy 1/2007, str. 30 (2.část).

Bílčík, Juraj; Dohnálek, Jiří: Sanace betonových konstrukcí
Doc. Ing. Luboš Svoboda, CSc. a kolektiv: Stavební hmoty

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Aleš Šmejda

Katedra dopravní infrastruktury

Datum zadání bakalářské práce:

30. listopadu 2007

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2008

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.

Ing. Vladimír Doležal, CSc.

vedoucí katedry

dne

SOUHRN

Práce je věnována problematice vlhkosti cihelného zdiva. Dále jsou zde uvedeny způsoby vzniku vlhkosti, měření a jejich odstraňování. Hlavní částí je pak experiment, který byl proveden na vybraných vzorcích.

KLÍČOVÁ SLOVA

vlhkost, sanace, deformace, napětí, kapilára

TITLE

The Assessment of Basic Mechanistic Properties of Brick Masonry According to the Changes in Dampness

ABSTRACT

This thesis deals with the problems of the brick masonry dampness. There are also mentioned the ways of measuring and removing of dampness. The main part comprises of the experiment that has been carried out on the selected samples and its results.

KEYWORDS

dampness, reconstruction, distortion, tension, capillary

OBSAH

1.	ÚVOD.....	1
2.	ROZBOR PROBLÉMU	2
2.1.	Vlhkost vyvolaná povodněmi a záplavami	2
2.2.	Druhy vlhkostí působící na stavební konstrukce	5
2.3.	Sanace.....	10
2.3.1.	Dělení sanačních metod	11
2.3.2.	Opatření proti vzlínající vlhkosti	11
2.3.3.	Vysoušení zdiva.....	12
3.	ZÁKLADNÍ PŘEDPOKLADY ŘEŠENÍ.....	14
3.1.	Mechanické vlastnosti materiálů.....	14
3.1.1.	Deformační pracovní diagramy	14
3.1.2.	Modul pružnosti a přetvárnosti	15
3.1.3.	Pevnost.....	15
3.2.	Vlhkostní vlastnosti materiálů.....	16
3.2.1.	Vlhkost pórovitých materiálů	16
3.2.2.	Druhy vlhkosti pórovitých materiálů	16
3.2.3.	Vlhkost, její veličiny a vztahy	17
3.3.	Metody měření vlhkosti	18
3.3.1.	Principy určování vlhkosti	18
3.3.2.	Dělení metod měření vlhkosti.....	18
3.3.3.	Gravimetrická (vážková) metoda.....	18
3.3.4.	Kapacitní metoda	18
3.3.5.	Odporová metoda.....	19
3.3.6.	Chemické metody	19
3.3.7.	Další metody měření vlhkosti	20
3.4.	Nasákavost	20
3.5.	Pórovitost	20
3.5.1.	Klasifikace pórů podle velikosti	20

4.	KAPILÁRNÍ SÍLY PŘI VZLÍNÁNÍ	21
4.1.	Povrchové napětí a energie.....	21
4.2.	Mezifázové napětí.....	22
4.3.	Praktická ukázka kapilarity	23
4.4.	Elevace vody kapilárami stavebních materiálů	24
4.5.	Stanovení únosnosti a teoretického poloměru kapiláry	25
5.	EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ	26
5.1.	Použité pomůcky při experimentech.....	26
5.2.	Zkoušené materiály	28
5.3.	Postup provádění experimentů	28
5.4.	Jednotlivé experimenty	29
5.4.1.	Cihla plná pálená	29
5.4.2.	Cihla lícovka	31
5.4.3.	Cihla vápenocementová	33
5.4.4.	Cihla šamotová	35
5.4.5.	Zdící malta	37
5.4.6.	Jádrová omítka	39
5.4.7.	Měření svislých deformací na zdící maltě	40
5.4.8.	Měření příčných deformací na jádrové omítce	42
6.	DISKUZE VÝSLEDKŮ	45
7.	ZÁVĚR.....	46

1. ÚVOD

Cílem mé bakalářské práce je stanovení mechanickofyzikálních vlastností zdiva v závislosti na vlhkosti. V České republice je největší část domů postavena z cihelného zdiva. Toto zdivo vykazuje různou kvalitu provedení i různou kvalitu materiálu. Vlivem vlhkosti, která je ovlivněna mnoha faktory, zdivo ztrácí na své kvalitě a proto se budu zabývat právě tímto stavebním systémem. Považuji za dobré uvést příklady způsobů vzniku vlhkosti v konstrukci a základní opatření proti dalšímu šíření, popřípadě i jejich odstranění. Pro osvojení problematiky je také vhodné zopakovat materiálové charakteristiky metody měření vlhkosti a způsob šíření vlhkosti ve zdivu. Nejdůležitější část práce se věnuje experimentům, které budou provedeny na vybraných vzorcích. Experimenty by měly dokázat praktické zkušenosti a zhodnotit dopad vlhkosti na cihelné zdivo.

2. ROZBOR PROBLÉMU

V této kapitole bude popsán vznik vlhkosti v objektu a následné řešení těchto problémů.

2.1. Vlhkost vyvolaná povodněmi a záplavami

Jednou z příčin vzniku vlhkosti ve zdivu jsou katastrofální záplavy, které postihly například město Terezín nebo Prahu.

- Povodně Praha Karlín v roce 2002

Při srpnové povodni byl zaplaven téměř celý Karlín do výše kolem 3 m. Po opadnutí vody se část obyvatel vrátila zpět a začalo se pracovat na obnově poničené čtvrti. Na místo byli přizváni dobrovolníci z řad staticků a všechny domy v zasaženém území se začaly posuzovat. Po zřícení několika budov (obrázek 1) z důvodů nestability podloží, se celé posuzování zmrazilo a situace začala být prezentována jako dlouhodobě nejasná. Na základě posudků byly stavby rozděleny na kategorie A (vyhovující), B (nevyjasněné) a C (C/N nepřístupné, C/R rizikový přístup).

Potvrdilo se, že pokud provedli majitelé ihned základní očištění, vysušení a opravy omítek, domy se téměř automaticky zařadily do kategorie A. Stavby v jejich sousedství o které se jejich majitelé nezačali starat, jsou z 90% ve stejném statickém stavu jako jejich sousedé, ale vzhledem k jejich povrchové zanedbanosti jsou řazeny do kategorie C. [9]



Obrázek 1: Zřícená přední část domu čp. 148 v Křížkové ulici. Zdroj [9]

- Zdivo budov po záplavách v roce 2002 město Terezín

Voda, která se záplavami nahromadila v suterénech, přízemích, dvorech a v okolí domů se až na výjimky “vrátila”. Podlahy a stěny domů byly vesměs vodou nasycené, majitelé a uživatelé domů byli nuceni k některým stavebním úpravám nebo větší či radikální rekonstrukci. Zásadní otázkou při volbě dalšího postupu bylo zjistit zda poruchy zdiva a souvisejících konstrukcí byly již před povodněmi, nebo jsou-li skutečně nové. U velké většiny budov se zavlhčení zdiva povodněmi zvětšilo a ustálilo se v úrovni poněkud vyšší než před záplavou.



Obrázek 2: Zaplavené město Terezín. Zdroj [2]

Před rozhodováním, jaké zvolit opatření proti vlhkosti zdiva, je třeba znát chování vody v jednotlivých typech domů a v charakteristických částech domů.

Zdivo je obvodové se vstupními otvory a otvory okenními, střední nosné, včetně schodišťových traktů, střední příčky a v případě řadových objektů rozdělující štítové zdi. Úroveň přízemí je shodná s úrovní okolního terénu, někdy zvýšená. Dvůr bývá často snížen. Vzniklé poruchy se projevují mapami vlhkosti, které jsou ohraničené a které ve většině případů bývají i vyrovnané. Lokální zvýšení poruch bývá při štítových zdech, a to zejména v místech dešťových svodů. Větší poruchy jsou také v chodbových traktech, zejména při vstupech. Na štítových zdech se projevují charakteristické trojúhelníkové tvary map vlhkosti. Nejvyšší vlhkost je tedy ve styku obou nosných zdí.



Obrázek 3: Úroveň vody ve městě. Zdroj [2]

Poruchy suterénů budov z hlediska vlhkosti se projevují v celých plochách všech obvodových zdí (obrázek 3). Zde se tedy jedná o ohraničený vliv vodou do zdiva vzlínající z podzákladí. Střední zdi bývají zvlhčeny k patkám kleneb. Často lze nalézt také starší historická opatření v prostorech sklepů, například formou vsakovacích jímek, volně budovaných jímek s odčerpáváním.

Vypracovat samostatné projektové návrhy obnovy pro všechny zaplavené domy není reálné. Přesto však je třeba zpracovat předběžný kvalifikovaný názor na způsob budoucí rekonstrukce. Ten se opírá o orientační stavebně technické průzkumy a znalosti účinnosti toho kterého opatření. Může tak vzniknout rozborová a problémová mapa ucelených bloků domů nebo celých částí města. Jednotlivé navržené typy obnovy mohou být ekonomicky vyhodnoceny. [2]

2.2. Druhy vlhkostí působící na stavební konstrukce

- Kapilární, vztlínající základová vlhkost

Při chybějící nebo poškozené vodorovné izolaci nasává porézní stavební materiál do svého kapilárního systému základovou vlhkost (obrázek 4).



Obrázek 4: Kapilární, vztlínající základová vlhkost. Zdroj [5]

- Hygroskopická vyrovnávací nebo rovnovážná vlhkost

Každá zeď a každá omítka obsahuje určité množství hygroskopické vlastní soli (zední sůl). Tyto soli se působením kapilární vztlínající vlhkosti "vymývají" ze zdiva. Ukládají se především v odpařovací zóně zdiva, v omítce nebo v nátěru. I když je zdivo uvnitř suché, může se stará zasolená omítka při vyšší vzdušné vlhkosti jevit jako mokrá (hygroskopická) (obrázek 5).



Obrázek 5: Hygroskopická vlhkost. Zdroj [5]

- Boční pronikající vlhkost

Při chybějící nebo poškozené svislé izolaci např. u sklepního zdiva, které je ve styku s terénem, může docházet k pronikání boční vlhkosti, která kapilárně vzlíná, příp. prostoupí celým zdivem (obrázek 6).



Obrázek 6: Boční pronikající vlhkost. Zdroj [5]

- Voda tlačená, tlaková nebo svahová

Vzedmutá svahová voda, dočasně vysoká spodní voda způsobuje vnikání vody do zdiva pod tlakem, což způsobuje částečně i tlak v kapilárním systému (hydrostatický tlak) (obrázek 7).



Obrázek 7: Voda tlačená, tlaková nebo svahová. Zdroj[5]

- Odstříkující voda

Při příliš hladkém povrchu terénu vedle vnější zdi se déšť odráží a stříká na oblast soklu (betonové desky, asfaltová cesta, okapový chodník atd.). Symptomy ostříkující vody je např. růst mechu a lišejníků (obrázek 8).



Obrázek 8: Odstříkující voda. Zdroj [5]

- Vlhkost následkem stavebních poruch nebo technických instalací

Tato vlhkost vzniká díky poškozené nebo chybějící ochraně proti pronikající dešťové vodě (poškození střech, nedostatečně utěsněný komín, chybějící zakrytí nepoužívaného komínu, chybějící odvodnění střechy atd.) případně poškozením instalačních vedení (poškozený nebo ucpaný dešťový svod, ucpaný nebo prasklý odpad, ucpaná drenáž a další (obrázek 9).



Obrázek 9: Vlhkost následkem stavebních poruch. Zdroj[5]

- Vlhkost z dopadajícího deště

Na návětrné straně namáhané deštěm proniká vlhkost do zdiva zcela propustnou omítkou nebo případně do zdiva neomítnutého (obrázek 10).



Obrázek 10: Vlhkost z dopadajícího deště. Zdroj [5]

- Vsakovací voda

Povrchová voda vznikající srážkami, která proniká bez překážek do spár mezi domovní zdi a zemí a tím značně promáčí zdivo v podzemí (většinou ve sklepě) (obrázek 11).



Obrázek 11: Vsakovací vada. Zdroj [5]

- Vlhkost rušivých polí

Určitá elektromagnetická, elektrostatická, magnetická pole příp. pole jiného druhu jsou schopna kapilární vlhkost ve zdivu zvyšovat. Zásadně rozeznáváme 2 druhy rušivých polí: rušivá pole geologického původu - jsou způsobena podzemními vodními prameny, rychle tekoucími podzemními proudy vody, tektonickými zlomy atd. a rušivá pole technického původu - jsou vyvolána televizními, rozhlasovými, radarovými vysílači, vysílači pro mobilní telefony a dalšími (elektrosmog), dále neizolovanými elektrickými nebo kovovými vodiči (roury atd.), neizolovanými držáky bleskosvodů ve zdivu a podobně (obrázek 12).



Obrázek 12: Vlhkost rušivých polí. Zdroj [5]

- Kondenzační vlhkost (rosení)

Jestliže se vlhký teplý vzduch srazí (kondenzuje) na chladnějších plochách, vzniká kondenzační vlhkost. Příčinami jsou většinou nedostatečná tepelná izolace vnějšího zdiva (příliš tenké vnější zdivo) - tepelné mosty, nadměrná vzdušná vlhkost ve vlhčích prostorech (koupelny, kuchyně, ložnice, prádelny, atd.), která nemůže unikat následkem těsnosti obytných prostor (absolutně utěsněná okna), nedostatečné větrání, špatné vytápěcí podmínky (obrázek 13).



Obrázek 13: Kondenzační vlhkost. Zdroj [5]

- Nevhodné stavebně technické zásahy.

Největší škůdce staveb je člověk. Svými neodborným a nevhodnými zásahy do stavby může způsobit dalekosáhlé a leckdy nenapravitelné škody (obrázek 14).



Obrázek 14: Nevhodné stavebně technické zásahy. Zdroj [5]

- Stavební vlhkost (vlhkost z nových omítek)

Stavební vlhkost je každá vlhkost, která je při stavbě domu "zastavena" do zdiva. Odpařuje se pomalu v průběhu 1,5 - 3 let. Při provedení nových omítek probíhá přirozené odpařování vlhkosti v závislosti na použitém materiálu a tloušťce omítky 1 až 2 roky. Celkový čas vysušování zdiva je o tuto dobu prodloužen.

- Chemicky způsobená vlhkost

Různé stavební hmoty mají různé chemické vlastnosti - např. staré zdivo je lehce kyselé, cementová omítka je silně alkalická (rozdílné pH-hodnoty). Tyto vlastnosti způsobují elektrochemický transport vlhkosti a nasávají vlhkost dodatečně příp. udržují chemicky vázanou vlhkost. Rezavějící materiály (ocelové roury, ocelové zárubně atd.) ve zdivu působí na vlhkost podobně. Úplné vysušení zdiva je možné často až po odstranění těchto rušivých chemických faktorů. [5]

2.3. Sanace

Způsob sanace vlhké stavby by měl být navržen na základě průzkumu. Nejdříve musíme odstranit příčiny a potom až řešit následky. V praxi se většinou jedná o celý soubor problémů, proto si málokdy vystačíme s jednou metodou sanace a je nutné je kombinovat. Optimální řešení lze jen málokdy aplikovat ať z důvodu památkové ochrany nebo jiných důvodů.

První podmínkou sanace je odstranit zatékání vody do objektu (oprava střešní krytiny, vadných instalací, klempířských prvků). Proti pronikání vlhkosti z přilehlé zeminy je vhodné provést svislé izolace, šterkové zásypy nebo jiná řešení. Vhodnou úpravou tepelně vlhkostního režimu domu lze omezit kondenzaci vzdušné vlhkosti na povrchu chladných stěn.

Důležité je eliminovat působení hydrokopických solí. Ze zkušeností je známo, že uvedené příčiny představují 70% poruch [6,12].

2.3.1. Dělení sanačních metod

Dle metod, jež omezují zdroj vlhkosti:

- Úpravy vnitřního prostředí budovy
- Úpravy vnějšího prostředí budovy
- Odvedení spodní vody

Mezi metody které zasahují do stavebních konstrukcí patří: Vzduchové systémy.

- Vkládání nových hydroizolačních pásů.
- Injektážní metody.
- Metody využívající elektrokinetických jevů.
- Povrchové úpravy.

Podle umístění dodatečné hydroizolace rozdělujeme:

- Svislé izolace vnitřní a vnější.
- Vodorovné izolace ploch a stěnových kc.
- Doplňující sanační opatření. [8]

2.3.2. Opatření proti vzlínající vlhkosti

Z hlediska provádění sanace můžeme metody rozdělit do několika skupin:

- Stavební metody - vzduchové systémy patří mezi historicky nejstarší způsoby odvodnění. Princip je založen na zvětšení plochy pro odpařování vlhkosti, nebo odvětrání vlhkosti do kanálů s různými variantami přivádění a odtahu vzduchu.
- Mechanické metody – tyto metody jsou založeny na vytvoření vodotěsné přepážky v celém průřezu zdiva nejčastěji ve výšce kde je možné navázat na vodorovnou izolaci podlah. Vodorovná izolace se vkládá do vybouraných otvorů ve zdivu postup je velmi pracný a finančně náročný. V cihelném zdivu lze použít řetězové pily nebo diamantové pily.

Účinnost těchto metod závisí pouze na kvalitě řemeslné práce a napojení vodorovných izolací.

- Injektáže – izolační clona se ve zdivu vytvoří napuštěním vrtů vhodnou látkou do zdiva. Látka pronikne do pórů stavebních hmot a utěsňuje je. Metoda je vhodná pro materiály s převládajícím obsahem větších pórů. Je použitelná pro většinu druhů zdiva a zejména tam kde nelze použít podřezání. Injektážní látku lze do zdiva napouštět pod tlakem nebo volně.
- Elektroosmotické metody – v praxi se používá pouze aktivní elektroosmóza. Metoda má potlačovat pohyb vody vzlínající z podzákladů účinkem stejnosměrného proudu. Tato metoda není vhodná pro zdivo s velkým obsahem solí nebo do oblastí s velmi mineralizovanou vodou. Obecně by neměla být používána na stavbách jejichž zdivo obsahuje nízké pH. Dle zkušeností z praxe může jen těžko nahradit izolaci. Protože se nejedná o stavební metodu, lze jen zhruba určit další návaznost opatření.
- Sanační omítky – použití sanačních omítek je jednou z neznámějších metod sanace. Jedná se o speciální maltové směsi určené pro omítání vlhkého zdiva. Princip je založen na hydrofobizaci povrchů a zvětšení pórovitosti omítky pomocí velkých pórů. Tímto způsobem se sníží kapilární vzlínání omítky. V důsledku toho se odpařovací zóna posune do nitra omítky. Výsledkem je že omítka zůstává suchá, ačkoliv zdivo je nadále mokré. Obecně lze říci, že sanační omítky jsou účinné pouze pokud je zdivo namáháno kapilární nebo hydroskopickou vlhkostí. Pokud se jedná o vodu prosakující nebo vlhkost kondenzující ze vzduchu je účinnost minimální. [1,6,12]

2.3.3. Vysoušení zdiva

Pokud došlo k extrémnímu zavlhčení zdiva je součástí sanace jeho vysoušení. Zdivo by mělo být vysušováno na hodnotu rovnovážné vlhkosti za normálních podmínek a nemělo by být přesušováno. Za přirozených podmínek zdivo vysychá jen velmi pomalu. Pokud budeme předpokládat, že zdivo je nasyceno z 20%, pak při měrné hmotnosti 1800 kg/m³ je množství v 1metru kubickém 360 l. Běžný metr zdiva tloušťky 45 cm obsahuje 160 l vody. Pro orientační výpočet doby vysychání lze použít Cadieguesova vztahu: $T=k \cdot b^2$, kde T je doba vyjádřena ve dnech, k je koeficient vysychání (pro zdivo je 0,28) a b je tloušťka zdiva. Odpaření vody z 45 cm tlusté stěny by tedy trvalo 1,5 roku. Rychlost odpařování vody ovlivňuje mnoho faktorů: teplota a proudění vzduchu a také jeho vlhkost (v létě bývá nižší než v zimě proto se vysychání zpomaluje). Dále je odpařování vody ovlivněno prodyšností povrchu. Málo propustné vrstvy odpařování zpomalují (keramické obklady nebo hutné cementové omítky). Pro vysoušení zdiva je vhodné použít takzvané odvlhčovače.

- Kondenzační odvlhčovače – jsou založeny na principu tepelného čerpadla. Vzduch se přivádí do výparníku a zkondenzovaná vlhkost je jímána do zásobníku. Suchý vzduch je po ohřevu veden zpět do interiéru. Neustálou cirkulací je vlhkost snížena až na požadovanou hranici. Nejlepšího výkonu dosahujeme při teplotách vyšších než 15 °C, udává se 10-50 litrů za 24 hodin. Při nízkých teplotách je nutno použít přídavné topení.
- Absorpční odvlhčovače – vysoušení vzduchu se děje na základě absorpce, což je fyzikální vázání vodních molekul materiálem (silikagenem). Zvlhlý vzduch je přiváděn ventilátorem a přes filtr ze silikagenu putuje ven z vysušovače už jako suchý vzduch. Nadbytečnou vlhkost odvádí samostatný proud vzduchu mimo objekt. Sorpční těleso může po regeneračním procesu plnit svoji funkci opakovaně. Oba procesy absorpce i regenerace probíhají současně, takže odvlhčování se děje nepřetržitě. Tyto přístroje fungují velmi spolehlivě i při nízkých teplotách a dá se s nimi vysušet i velmi vlhké zdivo. Výkon je udáván až 2000 l za den.
- Mikrovlnné vysoušení – pro toto vysoušení se používá vlnění o vlnové délce 12,5 cm a kmitočtu 2,45 GHz. Působením mikrovln dochází k uvolnění molekul vody ze zdiva. To je provázeno vznikem tepla a odpařením vlhkosti. Výhodné je, že při použití dojde k likvidaci veškeré mikroflóry a mikrofauny. Pomocí 6-ti kusů zařízení lze vysušit až 1500 litru za den. [1,6,12]

3. ZÁKLADNÍ PŘEDPOKLADY ŘEŠENÍ

Pro praktickou část této práce je důležité zopakovat některé mechanické vlastnosti materiálů, které přímo nebo i nepřímo ovlivňují vlhkost z toho vyplývají různé druhy měření vlhkosti.

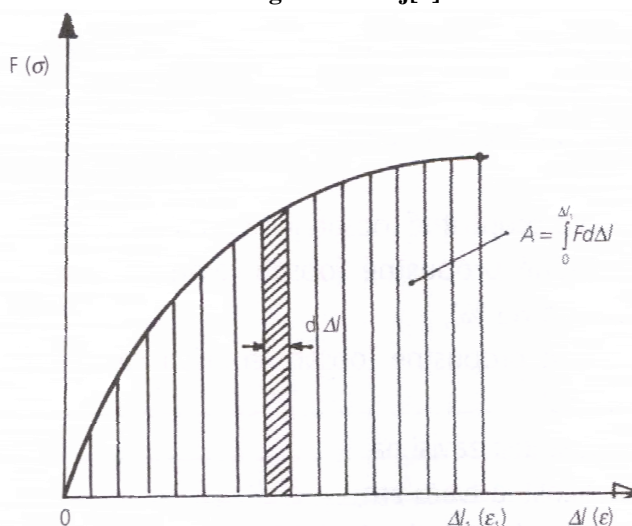
3.1. Mechanické vlastnosti materiálů

Mechanické vlastnosti udávají vztah mezi mechanickým namáháním a odporem, kterým materiál proti tomuto namáhání odolává. Pokud se jedná pouze o namáhání mechanickým napětím, označují se vlastnosti jako pevnostní nebo také deformační. [11]

3.1.1. Deformační pracovní diagramy

Deformace pevných látek účinkem napětí vyjadřuje pracovní diagram. Je to závislost deformace Δl na síle F , která v látce napětím deformaci způsobila. Deformační diagram je závislost poměrné deformace ε na napětí σ . V jednoduchých případech $\sigma = F/A$ kde F je síla působící na vzorek a A je plocha průřezu vzorku, tak se tato plocha uvažuje se stálou počáteční hodnotou, i když se při zatěžování mění. Je tedy jedno, zda se do grafu vynáší síla nebo napětí (mění se pouze měřítko grafu). Obdobně také nezáleží na tom, zda se do grafu vynáší ε nebo Δl , protože poměrná deformace je dána vztahem $\varepsilon = \Delta l/l$, kde Δl je napětím vyvozená změna původní délky. Z uvedeného vyplývá, že tentýž graf lze označit jako pracovní diagram nebo deformační diagram. Název pracovní diagram vyplývá z toho, že plocha pod křivkou závislosti až do bodu X_{max} je dána výrazem $A = \int_0^{\Delta l} F d\Delta l$. Graf 1. Vyjadřuje tedy množství přetvárné práce (mechanické energie) spotřebované na dosažení deformace materiálu X_{max} . [11]

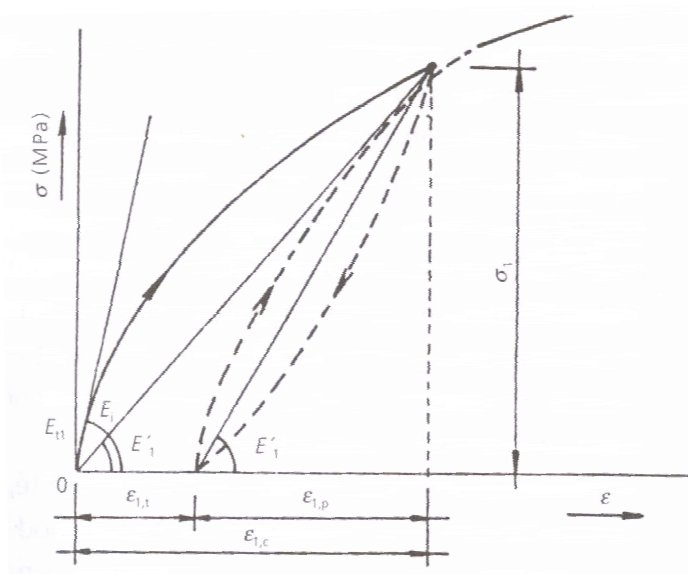
Graf 1: Pracovní diagram. Zdroj[2]



3.1.2. Modul pružnosti a přetvárnosti

Modul pružnosti je jednou ze základních fyzikálních vlastností definovaný z Hookeova zákona jako poměr napětí k poměrné deformaci $E = \sigma / \epsilon$, pro případ smykového namáhání je to $G = \tau / \gamma$. Modul pružnosti má tedy rozměr napětí a vyjadřuje tangentu úhlu, který svírá tečna nebo sečna k pracovnímu diagramu se směrem rovnoběžným s osou deformace. Z názvu vyplývá, že tato vlastnost popisuje chování materiálů pružných (jejich pracovní diagram je přímkový). Pokud chceme pojem rozšířit i na látky, které vykazují i deformace nepružné, pak mluvíme o modulu přetvárnosti. Jelikož se látky vykazující při zatížení nepružné deformace při odlehčování chovají víceméně pružně, vztahuje se potom jejich modul pružnosti na sklon příslušné větve pracovního diagramu, registrovaného během odlehčování. U modulu pružnosti i přetvárnosti je potřeba rozeznávat podle způsobu stanovení: modul počáteční, modul sečnový, modul tečnový Graf 2. [11]

Graf 2: Zobrazení modulů pružnosti a přetvárnosti. Zdroj [11]



3.1.3. Pevnost

Pevnost je odolnost materiálů odolávat silovým účinkům. Pevnost křehkých materiálů je největší napětí, kterému je hmota schopna odolávat bez porušení. U materiálů tvárných nelze takto pevnost vůbec zjistit, protože materiál se vlivem vysokého napětí příčně deformuje, jeho podélné deformace značně rostou a k porušení vůbec nemusí dojít. Pro tyto materiály se zavádí pevnost smluvní. U některých hmot se mez pevnosti definuje jako napětí odpovídající určité trvalé deformaci. Pevnost se zpravidla vztahuje na počáteční průřezové rozměry před zatěžováním. Pevnost můžeme definovat ze tří základních hledisek.

- Pevnost strukturní nebo také pevnost teoretická. Je to teoreticky stanovená hodnota pevnosti na základě vazebných sil mezi atomy. Její stanovení je značně složité, a proto se v praxi vychází při hodnocení materiálů z pevnosti stanovených experimentálně.
- Pevnost technická. Je to pevnost z hlediska potřeb stavební praxe pro stanovení výpočtových hodnot pro navrhování a posuzování jakosti materiálů.
- Pevnost z hlediska statistického, která na základě znalosti pravděpodobnosti zajišťuje spolehlivost konstrukcí i bez znalosti skutečných pevností. [11]

3.2. Vlhkostní vlastnosti materiálů

Vlhkostní vlastnosti (např. hmotnostní vlhkost, objemová vlhkost, objemová hmotnost ve vlhkém stavu) buď vyjadřují, jaké množství vlhkosti (volné nebo fyzikálně vázané vody) materiály obsahují, nebo kvantifikují dopady působení vlhkosti (ve stavu kapalném nebo i plynném) na sledovaných materiálech pomocí nasákavosti a vzlínivosti.

3.2.1. Vlhkost pórovitých materiálů

Pórovité materiály se nikdy nevyskytují v suchém stavu. Vždy mají nějakou vlhkost. Platí to i v případě že jsou zabudovány do konstrukcí a jsou její součástí. Voda se může v materiálech vyskytovat jako volná, fyzikálně vázaná, kapilární, absorbovaná, chemicky vázaná, sorpční a další. [2]

3.2.2. Druhy vlhkosti pórovitých materiálů

Vlhkost v materiálech není stále stejná mění se během výroby, ale i v průběhu životnosti. Proto rozeznáváme následující druhy vlhkosti, které jsou typické pro etapy tvorby a použití materiálů.

- Výrobní vlhkost, u výrobků vyráběných mokřím procesem je velmi vysoká, ale po krátké době její velikost výrazně klesá.
- Skladovací vlhkost, ovlivňuje způsob následného zpracování.
- Trvalá vlhkost, je charakteristická pro zabudované konstrukce. Nabývá nižších hodnot než vlhkost výrobní a v průběhu let se její hodnota mění. Přibližná doba k dosažení trvalé vlhkosti je 2-7 let.
- Kritická vlhkost je nejnižší přípustná vlhkost daného materiálu. Po překročení mění materiál své vlastnosti (pevnost, objem, tepelnou vodivost) [11]

3.2.3. Vlhkost, její veličiny a vztahy

Hmotnostní vlhkost [1]

$$w_h = \frac{(m_w - m_d)}{m_d} \cdot 100\% hm = \frac{m_k}{m_d} \cdot 100\% hm.$$

kde je m_w hmotnost vlhkého materiálu [g];

m_d hmotnost suchého materiálu [g];

m_k hmotnost kapaliny [g];

w_h hmotnostní vlhkost [% hm.].

Objemová vlhkost [1]

$$w_v = \frac{V_v}{V_d} \cdot 100\% obj = \frac{(m_w - m_d)}{q_k \cdot V_d} \cdot 100\% obj = \frac{w_h \cdot q_d}{100} \cdot 100\% obj.$$

kde je V_v objem volné vody [m³];

V_d objem suchého materiálu [m³];

q_k hustota vody [kg/m³];

q_d objemová hmotnost suchého materiálu;

w_v objemová vlhkost [% obj.].

Vlhkostní bilance [1]

Představuje srovnání jednotlivých změřených hodnot hmotnostních vlhkostí (w_h) stavebních materiálů po výšce a do hloubky konstrukce s vlhkostí materiálů zcela nasyceného vodou (w'_h) a se stupněm nasycení vodou (Ψ).

$$w_h = \frac{(m_w - m_d)}{m_d} \cdot 100\% hm.$$

$$w'_h = \frac{(m_u - m_d)}{m_d} \cdot 100\% hm$$

$$\psi = \frac{w_h}{w'_h} \cdot 100\% hm.$$

kde je m_w hmotnost vlhkého vzorku;

m_d hmotnost vysušeného vzorku;

m_u hmotnost vzorku nasyceného vodou.

3.3. Metody měření vlhkosti

3.3.1. Principy určování vlhkosti

- Oddělení vody od pevné fáze.
- Stanovení obsahu vody na základě specifických vlastností vody a vodních par.
- Stanovení obsahu vody na základě měření dalších veličin, které jsou v přímé souvislosti s obsahem vody a jsou jimi ovlivněny. [1,8]

3.3.2. Dělení metod měření vlhkosti

- způsobu odběru vzorku: destruktivní (pro určení je odebrán vzorek z konstrukce), nedestruktivní (stanovení vlhkosti se provede buď příložným měřicím přístrojem nebo je čidlo zabudované přímo v konstrukci)
- způsobu měření: přímé (měřenou veličinou je množství vody), nepřímé (měřena je fyzikální veličina, která se mění v závislosti na měnící se vlhkosti materiálů). [1,8]

3.3.3. Gravimetrická (vážková) metoda

Podstatou je oddělení vody od pevné fáze a stanovení jejich hmotností. Princip spočívá v odebrání vzorku, zvážení a sušení do ustálené vlhkosti. Hmotnost rozdílu suchého a mokrého vzorku je roven hmotnosti vody. U této metody nezáleží na druhu materiálu, jehož vlastnost je zkoumána. Největší výhodou je nezávislost na dalších parametrech, proto je vážková metoda považována za standardní a univerzální. Hlavní nevýhodou je destruktivní charakter odběru vzorků a tím znemožněné kontinuální sledování vlhkosti v daném místě. Přes uvedené nevýhody je tato metoda stále nejvýhodnější a nejpresnější. [1,8]

3.3.4. Kapacitní metoda

Tato metoda je založena na principu měření změny kapacity kondenzátoru, jehož dielektrikem je zkoumaný materiál. Vlhký materiál může být z hlediska elektrického pole považován za nestejnorodé dielektrikum, které je charakterizováno relativní permitivitou. Jelikož kapacita deskového kondenzátoru je přímo úměrná relativní permitivitě dielektrika kondenzátoru, závisí celková kapacita především na množství vody v materiálu, neboli na vlhkosti. Měření vlhkosti kapacitní metodou není ovlivněno okolní teplotou ani množstvím solí v materiálech. Při nízkých hodnotách vlhkosti (0-6%) lze získat relativně přesné výsledky. Pro vlhkost vyšší než tato hranice je rozptyl naměřených hodnot větší a pro velmi vlhké materiály téměř nepoužitelný. [1,8]

Výpočet kapacitní metodou provádíme pomocí relativní permitivity zkoumaného prostředí ε . Pokud je relativní permitivita vody 81 a relativní permitivita vzduchu přibližně 1 potom ovlivňuje permitivitu zkoumaného prostředí nejvíce vlhkost materiálu.

$$\varepsilon = \frac{a}{(b - \Theta)^2}$$

ε - permitivita zkoumaného prostředí

Θ -vlhkost

a,b-konstanty závislé na charakteristikách látky

3.3.5. Odporová metoda

Princip spočívá v měření odporu vlhkého materiálu, který se mění s vlhkostí. Vlhkost v materiálech je z hlediska vedení elektřiny elektrolytem s různou koncentrací, což znamená že vodivost se mění s nárůstem vlhkosti. Vlhké stavební materiály lze z hlediska vedení el. proudu považovat za homogenní polovodivé látky. Měření ovlivňuje především přechodový odpor mezi měřicími elektrodami a materiálem, geometrické uspořádání elektrod, chemické složení elektrolytu (obsah solí) a geometrické rozložení vlhkosti. Velký vliv na měření má teplota. Pro zdivo s nízkým obsahem solí je metoda schopna poskytnout poměrně přesné výsledky. U zasoleného zdiva je vhodné měřit vlhkosti pouze do 6% hmotnostní vlhkosti. Se stoupající vlhkostí a obsahem solí tato metoda výrazně klesá. [1,8]

Závislost elektrického odporu na vlhkosti lze určit ze vzorce:

$$R_e = \frac{a}{b}(1 + \alpha\Delta T)$$

α - koeficient teplotní změny elektrického odporu

T - teplota

a, b - konstanty závislé na chemickém složení pórové vody, na vlastnostech tuhé fáze a na objemové hmotnosti

3.3.6. Chemické metody

Z chemických metod se uplatňuje především metoda karbidu vápníku. Využívá chemické reakce vody v rozdrceném vzorku měřeného materiálu s karbidem vápníku a určuje vlhkost kvantitativním stanovením produktu této reakce. Při reakci karbidu vápníku s vodou vzniká

acetylen. Reakce probíhá okamžitě, tlak vyvinutého plynu je měřítkem pro vlhkost, která se odečítá pomocí tabulek. [1]

3.3.7. Další metody měření vlhkosti

- Gamaskopická metoda. Je založena na principu γ -záření které pokud prochází hmotou snižuje se jeho intenzita. Absopce záření je úměrná hmotnosti prozařovaného materiálu, u pórovitých materiálu tedy závisí na objemové hmotnosti a vlhkosti.
- Neutronová metoda. Při interakci rychlých neutronů s jádry atomů malých hmotností dochází ke zpomalování těchto rychlých neutronů. Nejsilnějším moderátorem jsou atomy vodíku. Jestliže obsah vodíku v tuhé fázi pórovité látky bude relativně malý, bude moderační účinnost záviset především na obsahu vody. Tento princip je aplikován na neutronové metodě měření vlhkosti nedestruktivním způsobem. [3]

3.4. Nasákavost

Maximální množství vlhkosti, které může být obsaženo v materiálech se vyjadřuje pomocí nasákavosti. Udává se stejně jako hmotnostní vlhkost poměrem hmotnosti nasáklé vzorku vlhkostí k hmotnosti suchého vzorku. [2]

3.5. Pórovitost

Pórovitost je veličina, která informuje o celkovém objemu všech pórů v materiálu. Je definována jako poměr objemu póru ku objemu látky. Obvykle se udává v procentech. Je to jediná veličina, která ke vztahu k porézním materiálům může být jednoznačně určena.

3.5.1. Klasifikace pórů podle velikosti

- Submikroskopické póry. Jejich poloměr je mezi 10^{-11} - 10^{-10} m. V těchto pórech se nemohou vytvářet řetězce vody a voda se také těmito póry nemůže pohybovat.
- Mikropóry. Jejich poloměr je mezi 10^{-10} - 10^{-9} m. V těchto pórech dochází k takzvané kapilární kondenzaci.
- Kapilární póry. Jejich poloměr je mezi 10^{-7} - 10^{-3} m. Pohyb vody v těchto pórech je vyvolán povrchovým napětím a tedy kapilárními silami. Proudění je laminární.
- Makropóry. Mohou být větší než 10^{-2} m. Jsou natolik rozsáhlé, že se zde uplatňuje vliv gravitace. Pohyb může být i turbulentní.

Tato klasifikace je velmi hrubá, proto se někdy udává rozdělovací křivka pórů. [7]

4. KAPILÁRNÍ SÍLY PŘI VZLÍNÁNÍ

V důsledku kapilarity může voda ve zdivu vystoupat vysoko i několik metrů nad výšku ustálené vodní hladiny. Tento jev není nijak vzácný, v přírodě se odehrává každodenně, je to v důsledek mezifázového napětí, které je na hranici tří prostředí (pevná látka, kapalina, vzduch).

4.1. Povrchové napětí a energie

Povrch těles i kapalin představuje narušení uspořádání molekul a atomů, jež jsou charakteristická pro místa pod povrchem. Atomy a molekuly, které jsou při povrchu materiálu, nemají z jedné strany své typické sousedy, a proto nemohou vytvořit výhodné vazby na rozdíl od míst pod povrchem. Pokud se zvětšuje povrch kapaliny, tak se některé molekuly dostávají z vnitřku na povrch, při tomto pohybu musejí překonávat kohezní síly. Tímto jevem lze vysvětlit, proč je nutné ke zvětšení povrchu vynaložit určitou práci a také to, že na povrchu mají molekuly větší energii než uvnitř tělesa. Lze vyvodit, že povrchová energie je rozdíl energie povrchových partií oproti energii molekul uvnitř látky. Hustotou povrchové energie se pak rozumí energie vztažená na jednotku plochy. Také bývá nazývána kapilární konstantou. Tato energie se dá u kapalných látek měřit (jako práce spotřebovaná pro zvětšení povrchu kapaliny o jednotku při nezměněném objemu). [4]

Důkaz povrchové energie - Maxwell

Ponoříme-li drátěný rámeček R s posuvnou příčkou P do mýdlového roztoku, vytvoří se na něm, vlivem povrchového napětí, tenká kapalinová blána povrchovými vrstvami na obou stranách. Povrchové napětí působí v jedné povrchové vrstvě na posuvnou příčku délkou L silou σl . Protože příčku udržíme v rovnováze (se zřetelem ke dvěma povrchovým vrstvám blány) silou $F=2\sigma l$, vykonáme při posunutí příčky o délku Δs práci $\Delta A=2\sigma l\Delta s$. Energie připadající na jednotku plochy je :

$$\frac{\Delta A}{2l\Delta s} = \frac{2\sigma l\Delta s}{2l\Delta s} = \sigma$$

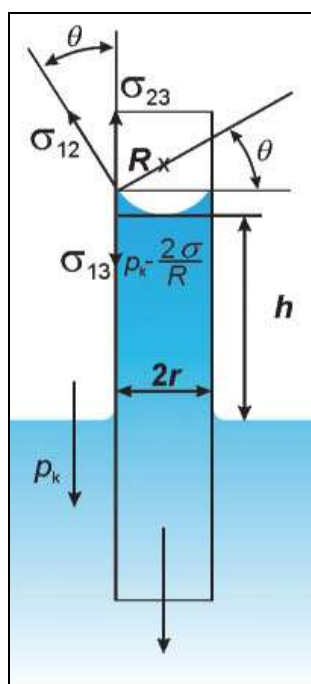
To znamená, že plošná hustota energie (levá strana rovnice) je rovna povrchovému napětí. Plošná energie, tj. vyjádřeno číselně povrchová energie plošné jednotky, se nazývá kapilární konstanta. [4]

4.2. Mezifázové napětí

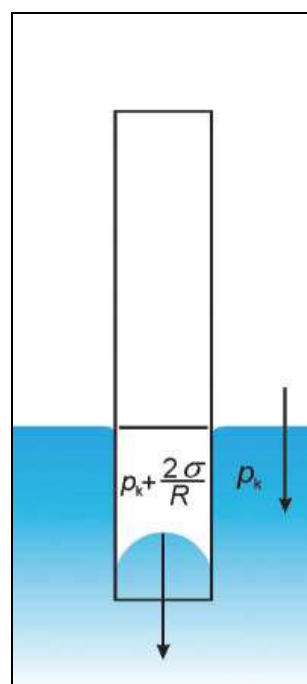
Na jakémkoliv rozhraní dvou nemísitelných fází se hromadí povrchová energie (pevná látka-vzduch, kapalina-pevná látka). Mluvíme tedy o mezifázovém napětí, toto nemůže konat práci na tělese (utvářet jeho tvar), ale ovlivňuje jeho snášivost, což je podstatné pro všechny kapilární jevy.

Rozhraní tří fází je v místě, kde se na stěně kapiláry stýkají další fáze - voda a vzduch, je místem, kde se vektorově sčítají mezifázová napětí. Jejich výslednice zvedne nebo sníží úroveň vodní hladiny v kapiláře proti gravitačním nebo hydrostatickým silám. Toto popisuje (obrázek 15). Je-li σ_{12} povrchové napětí kapaliny v kontaktu se vzduchem, σ_{13} povrchové napětí kapaliny v kontaktu se stěnou kapiláry a σ_{23} povrchové napětí stěny kapiláry v kontaktu se vzduchem, pak pro rovnováhu platí (obrázek 15):

$$\sigma_{12}\cos\theta + \sigma_{13} = \sigma_{23}, \text{ odtud jednoduchou úpravou dostaneme: } \cos\theta = \frac{\sigma_{23} - \sigma_{13}}{\sigma_{12}}$$

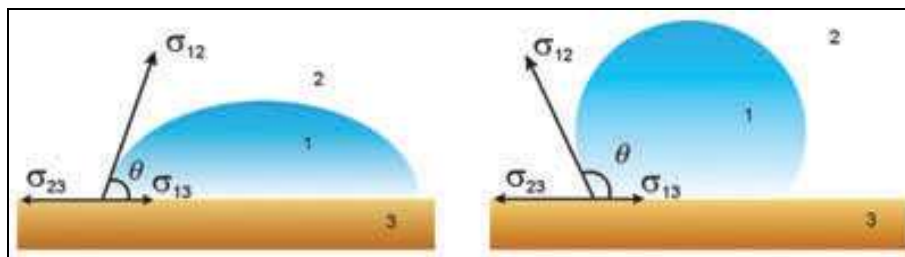


Obrázek 15: Kapilární elevace. Zdroj[3]



Obrázek 16: Kapilární deprese. Zdroj[3]

Úhel θ se nazývá krajový úhel a rozdíl $\sigma_{23} - \sigma_{13}$ pak adhezní konstanta. Krajový úhel θ , který charakterizuje smáčivost povrchu kapalinou, lze odečíst z experimentu uspořádaného podle (obrázek 15). Ještě jednodušeji lze krajový úhel odečíst jako úhel, který svírá okraj malé kapky s podložkou podle (obrázek 17). Adhezní konstantu lze stanovit také z relativně snadného měření krajového úhlu a znalosti povrchového napětí kapaliny podle vztahu $\sigma_{23} - \sigma_{13} = \sigma_{12}\cos\theta$. [3]



Obrázek 17: Krajový úhel θ . Zdroj [3]

Je-li adhezní konstanta kladná, působí na okraj kapaliny ve svislé kapiláře zdvihová síla f , díky níž vystoupá kapalina nad úroveň ustálené vodní hladiny. Případ je znázorněn na obr. 1a, kde je kapilára tvořena svislou skleněnou trubicí ponořenou jedním koncem do kapaliny. Pro tenkou kapiláru kruhového průřezu o poloměru r je tato síla rovna obvodu kapiláry násobeným adhezní konstantou: $f = 2\pi r(\sigma_{23} - \sigma_{13}) = 2\pi r\sigma_{12}\cos\theta$

Vydělíme-li zdvihovou sílu f podle průřezem kapiláry πr^2 , jež je tak tenká, aby meniskus byl ve tvaru kulové úseče s poloměrem křivosti $R = r/(\cos\theta)$, získáme veličinu o fyzikálním rozměru tlaku, zvanou kapilární tlak p_k o hodnotě:

$$p_k = \frac{2\sigma_{12}\cos\theta}{r} = \pm \frac{2\sigma_{12}}{R}$$

Tlak p_k je kladný (orientovaný proti gravitaci) nebo záporný podle toho, jestli kapalina povrch kapiláry smáčí ($\cos\theta > 0$) nebo naopak ($\cos\theta < 0$) a způsobí zvýšení nebo snížení hladiny v kapiláře vzhledem k úrovni okolní hladiny o úsek h tak, aby právě vyrovnal hydrostatický tlak v kapiláře v úrovni okolní hladiny: $p_k = \rho gh$

kde ρ je hustota kapaliny a $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$ je gravitační zrychlení. Pro výšku h pak z předchozích vzorců dostáváme:

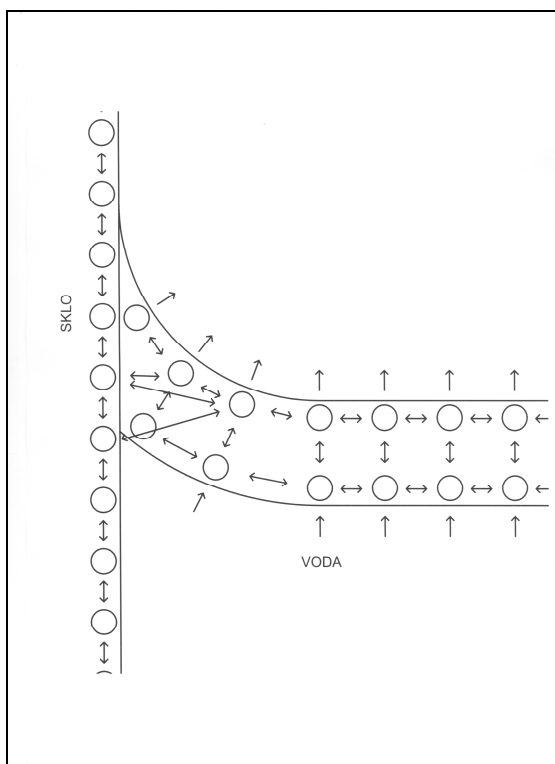
$$h = \frac{p_k}{\rho g} = \frac{2\sigma_{12}\cos\theta}{r\rho g}$$

Je-li $\cos\theta > 0$ zvedne se v kapiláře sloupec kapaliny nad okolní hladinu (kapilární elevace, zdvih), je-li $\cos\theta < 0$ sloupec klesne pod hladinu (kapilární deprese). Výška elevace (deprese) závisí kromě hodnoty adhezní konstanty také na poloměru kapiláry. [3]

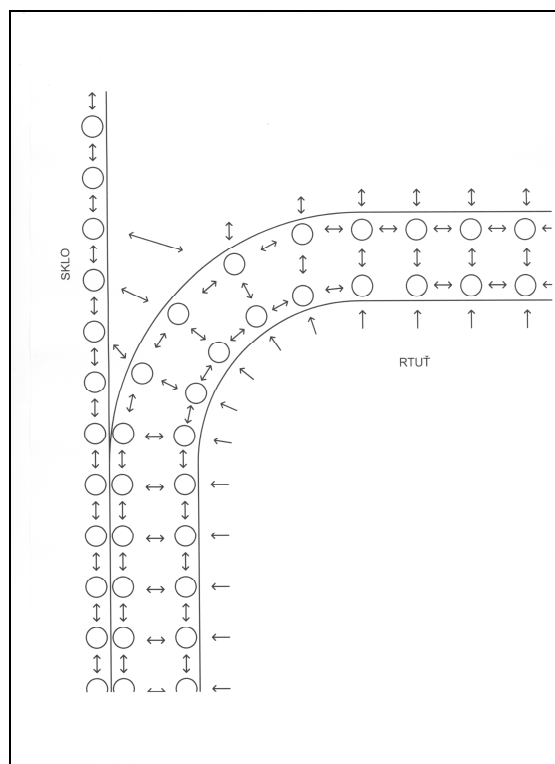
4.3. Praktická ukázka kapilarity

Pokud je hustota stěny větší než hustota kapaliny, jsou i molekulární síly stěny větší než kapaliny, a proto kapalina vystoupí na okrajích nad hladinu (obrázek 18). Jestliže je to opačně, tedy hustota kapaliny je větší než hustota stěny nádoby, potom molekulární síly

v tekutině převládají, tekutina má snahu zaujmout kulovitý tvar, proto na okraji poklesne směrem dovnitř (obrázek 19).



Obrázek 18: Molekulární síly stěny jsou větší než síly vody. Zdroj vlastní.



Obrázek 19: Molekulární síly stěny jsou menší než rtuť. Zdroj vlastní.

4.4. Elevace vody kapilárami stavebních materiálů

Poznatky o působení sil vlivem elevace (vzlínání) vody v pórovém systému stavebních materiálů lze získat pomocí známých fyzikálních vztahů, a tím stanovit velikost přitažlivých sil mezi molekulami látek vytvářejících adhezi, tj. vzájemnou přilnavost mezi jednotlivými molekulami látek (obrázek 20). [10]

Elevaci vody v průřezu kapiláry z hlediska jejího objemu Q_v , lze vyjádřit vztahem:

$$Q_v = \pi * r * h * \rho_v$$

h-výška vzlínivosti vody v mm,

r-poloměr kapiláry v mm,

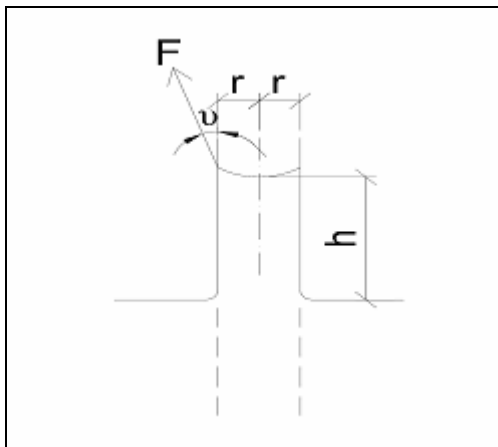
ρ_v -tíha vody v g.mm-3.

Při elevaci vody kapilárou dochází ke tření vody o stěny kapilár a z tohoto jevu lze stanovit velikost vznikající síly S pomocí vztahu:

$$S = 2 * \pi * r * F * \cos_v$$

F -je smykový tok napětí, udávaný konstantou 0,00765 g.mm-1 ,

ν -je úhel odklonu síly F od vertikály, pro praktické použití lze považovat $\nu=0$, takže $\cos \nu=1$.



Obrázek 20: Velikost přitažlivých sil mezi molekulami. Zdroj[10]

Z podmínky rovnováhy působících sil $Q = S$, lze stanovit tlakové napětí vztahem:

$$h^* \rho_v = \frac{2F}{r}$$

4.5. Stanovení únosnosti a teoretického poloměru kapiláry

Pomocí parametru objemové nasákavosti cihelného zdiva lze stanovit celkový objem kapilár i množství vody v kapilárách . Podle příkladu provedeného na Fakultě stavební ČVUT v Praze je při vlhkosti 15,8% únosnost snížena o 60% . Výpočtové ověření této hodnoty pro náš příklad nebylo možné . Bylo by nutné provedení dalších experimentů a to z časových důvodů není možné .

5. EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ

Pro praktické pokusy byly vybrány čtyři druhy cihel (cihla plná pálená , cihla lícovka , cihla šamotová a cihla vápenocementová) a jeden druh zdící malty a jádrové omítky.

5.1. Použité pomůcky při experimentech

- Lis Matest (obrázek 21)

Stroj se skládá ze dvou hlavních částí:

- rám sestavený z hydraulického pístu , který aplikuje sílu na vzorek prostřednictvím tlaku oleje v uzavřeném okruhu a dvě desky přenášející sílu hydraulického pístu na vzorek. Uložení na kulovém kloubu umožňuje rovnoměrné roznášení síly na vzorek.
- druhá část je automatická řídicí jednotka se servomechanismem, která umožňuje nastavit správný tlak oleje v hydraulickém systému a vyhodnotit sílu aplikovanou na vzorek prostřednictvím snímače tlaku.



Obrázek 21: Lis Matest. Zdroj vlastní.

- Laboratorní sušárna VENTICELL 111 (obrázek 22)

Laboratorní sušárna je určena pro temperování různých druhů materiálů pomocí horkého vzduchu při nastavitelné teplotě a volitelném časovém režimu . Vzduchová klapka sušárny umožňuje vysoušení vlhkého materiálu. Průběh teploty je řízen mikroprocesorem s digitálním displejem a teplotním čidlem.



Obrázek 22: Laboratorní sušárna. Zdroj vlastní.

- Přesné elektronické váhy KERN (obrázek 23)

Přesné váhy slouží k vážení zkoušených vzorků . Jejich rozsah je od 0,02 g do 300 g .



Obrázek 23: Přesné elektronické váhy. Zdroj vlastní.

- Laboratorní misky

Laboratorní misky slouží k odebírání mokrých vzorků .

5.2. Zkoušené materiály

- Cihla plná pálená 290/140/65 P15 STAMP
- Cihla lícovka děrovaná světlá 240/112/72
- Cihla šamotová NF2 250/124/64
- Cihla vápenocementová 440/247/238
- Zdící malta 5 Mpa
- Jádrová omítka 2mm RKS

5.3. Postup provádění experimentů

Při zkoumání byla zjišťována vlhkost a pevnost vzorků, také byly změřeny přesné rozměry jednotlivých vzorků. V první fázi praktických pokusů byly vzorky ponořeny do vody a ponechány zde určený čas. Doba namočení ve vodě byla v rozmezí jednoho a pěti dnů. V druhé fázi byly provedeny pokusy na relativně suchých vzorcích, později i na mokřích. Pokusy byly provedeny za stejných podmínek.

Postup:

1. Vzorek byl změřen
2. Rozměry byly zapsány a nastaveny na lisu
3. Vzorek byl vložen do lisu a lis byl spuštěn
4. Odečtena hodnota síly a napětí po rozdrčení
5. Odebrání a zvážení asi 100 g vzorku
6. Vložení vzorku do sušičky v laboratorní misce
7. Sušení 24 hodin
8. Zvážení suchého vzorku
9. Zvážení laboratorní misky
10. Zpracování výsledků

5.4. Jednotlivé experimenty

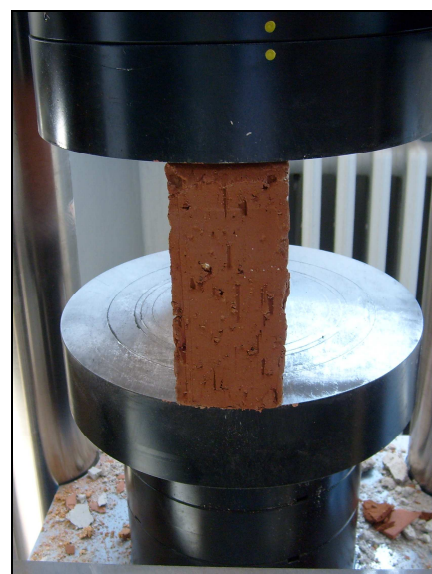
Tato kapitola je určena pro vlastní experimentální část. Jsou zde uvedeny výsledky zkoušek jednotlivých materiálů a komentář naměřených výsledků .

5.4.1. Cihla plná pálená

Cihly byly do lisu vloženy dvěma způsoby. V první fázi nejdelší hranou, tedy svisle - (obrázek 24) a na šířku (obrázek 25). Výsledky měření pro cihlu na výšku jsou v tabulce 2 a pro cihlu na šířku v tabulce 1 a grafu 3. Rychlost zatěžování byla zvolena 2 Kn/s.



Obrázek 24: Cihla na výšku. Zdroj vlastní.



Obrázek 25: Cihla na šířku. Zdroj vlastní

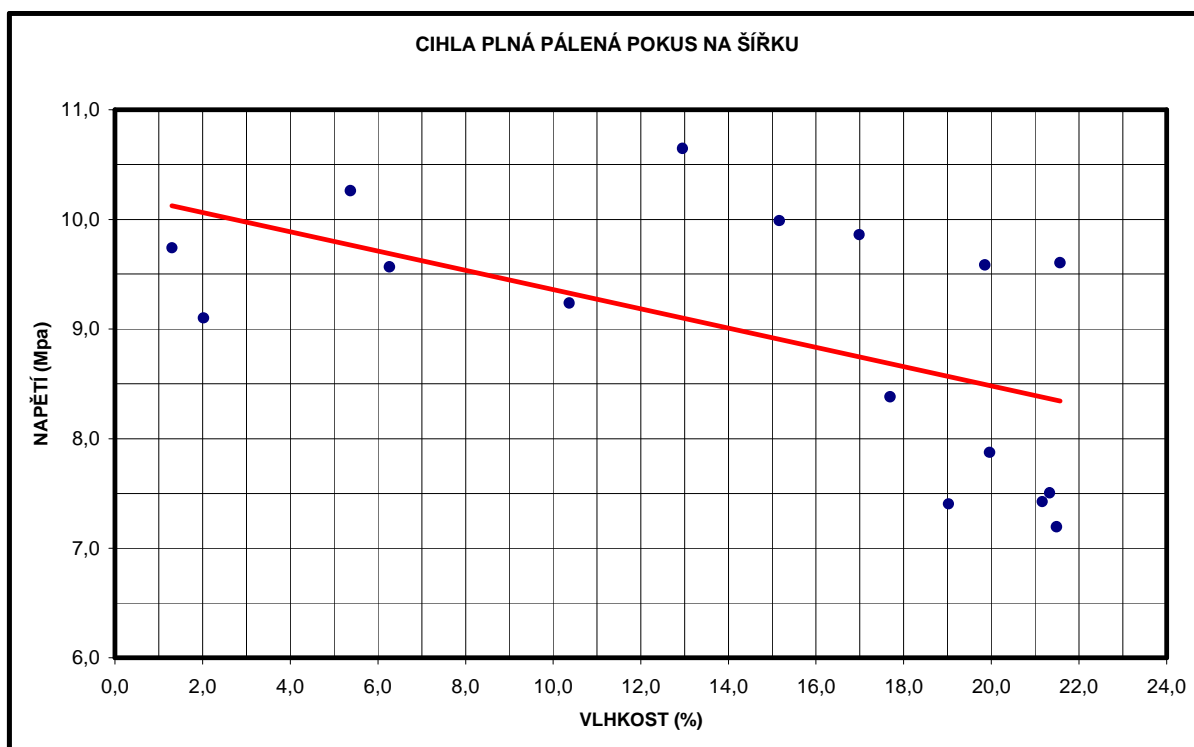
Tabulka 1: Cihla plná pálená na šířku. Zdroj vlastní.

CIHLA PLNÁ PÁLENÁ POKUS NA ŠÍŘKU				
DÉLKA(mm)	ŠÍŘKA (mm)	VÝŠKA (mm)	NAPĚTÍ (Mpa)	VLHKOST (%)
300	142	70	7,195	21,49
295	145	68	7,425	21,16
285	149	65	9,741	1,30
295	145	65	9,101	2,02
286	149	65	9,584	19,85
295	145	68	9,605	21,57
287	145	63	10,262	5,37
300	143	70	7,404	19,02
285	145	62	9,861	16,99
287	148	65	7,875	19,96
287	142	64	9,566	6,27
292	143	64	9,236	10,36
289	145	65	9,988	15,16
291	144	65	8,382	17,69
290	142	65	7,504	21,33
290	144	65	10,647	12,95

Tabulka 2: Cihla plná pálená svisle. Zdroj vlastní.

CIHLA PLNÁ PÁLENÁ SVISLE				
DÉLKA (mm)	ŠÍŘKA (mm)	VÝŠKA (mm)	NAPĚTÍ (Mpa)	VLHKOST (%)
290	135	60	11,432	0,04
295	136	60	8,772	0,05
293	135	60	8,477	0,18

Graf 3: Cihla plná pálená na šířku. Zdroj vlastní.



Závěr z měření pro cihlu plnou pálenou:

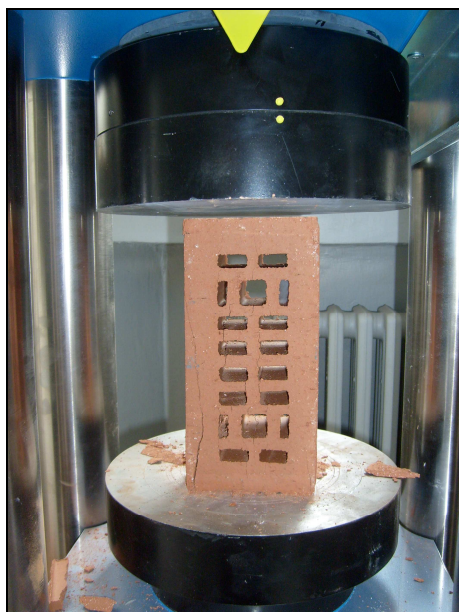
Z tabulky je zřejmé, že jednotlivé cihly vykazují velkou výrobní nepřesnost. Tato nepřesnost se promítla i do celé geometrie cihly a to hlavně do rovnoběžnosti hran, proto byly cihly vkládány do lisu dvěma způsoby.

Při porovnání obou tabulek můžeme také zjistit, že pevnost při stejné vlhkosti je přibližně shodná, a proto způsob vložení cihly do lisu nemá vliv na výsledky.

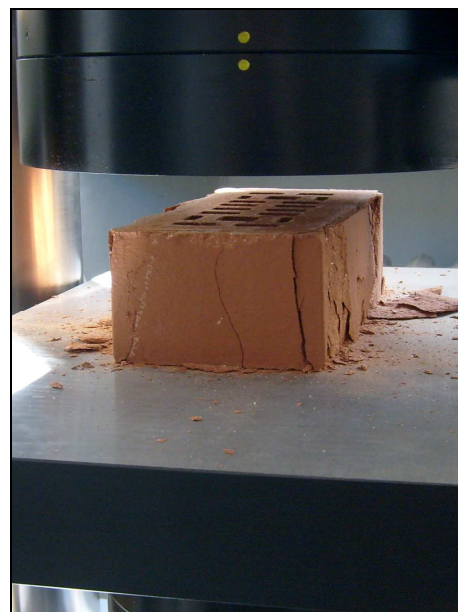
Z grafu je zřejmé, že cihly ztrácejí pevnost s nárůstem vlhkosti. Velký rozptyl výsledků je pravděpodobně způsoben špatnou kvalitou cihel.

5.4.2. Cihla lícovka

Cihly byly do lisu vloženy dvěma způsoby: v první fázi nejdelší hranou tedy svíse (obrázek 26), poté nejkratší stranou svíse (obrázek 27). Výsledky měření pro cihlu na výšku jsou v tabulce 4 a pro cihlu nejkratší stranou svíse jsou v tabulce 3 a grafu 4. Rychlost zatěžování byla zvolena 2 Kn/s.



Obrázek 26: Cihla lícovka na výšku.



Obrázek 27: Cihla lícovka. Zdroj vlastní.

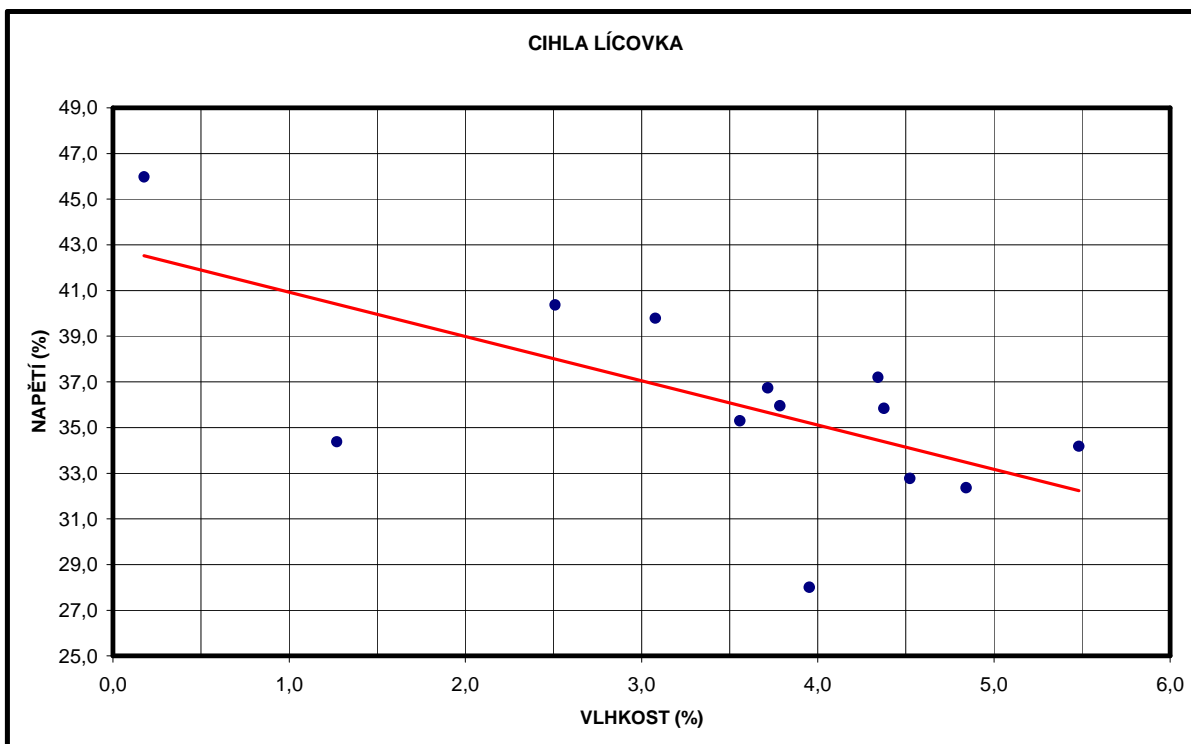
Tabulka 3: Cihla lícovka. Zdroj vlastní.

CIHLA LÍCOVKA				
DÉLKA(mm)	ŠÍŘKA (mm)	VÝŠKA (mm)	NAPĚTÍ (Mpa)	VLHKOST (%)
240	112	74	34,380	1,27
241	113	74	39,790	3,08
241	111	73	40,370	2,51
242	114	73	34,183	5,48
243	113	73	35,842	4,38
243	112	73	45,980	0,18
242	114	71	35,950	3,78
241	114	72	35,300	3,56
242	114	72	37,200	4,34
242	113	73	36,740	3,72
243	114	72	32,365	4,84
242	114	73	32,771	4,52
242	113	73	28,002	3,95

Tabulka 4: Cihla lícovka na výšku. Zdroj vlastní.

CIHLA LÍCOVKA NA VÝŠKU				
DÉLKA(mm)	ŠÍŘKA (mm)	VÝŠKA (mm)	NAPĚTÍ (Mpa)	VLHKOST (%)
245	112	72	20,73	1,13
244	111	72	23,715	0,04
245	112	72	18,58	0,04

Graf 4: Cihla lícovka. Zdroj vlastní.



Závěr z měření pro cihlu lícovku:

Výsledky měření této cihly jsou přesnější než cihly plně pálené, ale i tak vykazují poměrně velkou nepřesnost. Cihly byly vkládány do lisu dvěma způsoby.

Z tabulek je zřejmé, že cihly nemají stejnou pevnost při pokusu na výšku a nejkratší stranou svisle. To je způsobeno velikostí děr v jednotlivých směrech.

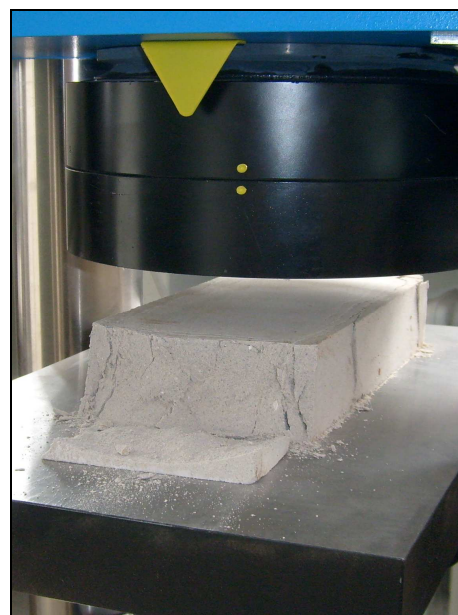
Z grafu lze vyčíst, že cihly jsou málo nasákové ve srovnání s cihlou plnou pálenou, ale i přesto jejich pevnost se snižuje s vlhkostí.

5.4.3. Cihla vápenocementová

Cihly byly do lisu vloženy dvěma způsoby: v první fázi nejdelší hranou, tedy svisle (obrázek 28), později nejkratší stranou svisle (obrázek 29). Výsledky měření pro cihlu na výšku jsou v tabulce 6 a pro cihlu nejkratší stranou svisle jsou v tabulce 5 a grafu 5. Rychlost zatěžování byla zvolena 2 Kn/s.



Obrázek 28: Cihla vápenocementová na výšku.
Zdroj vlastní.



Obrázek 29: Cihla vápenocementová.
Zdroj vlastní.

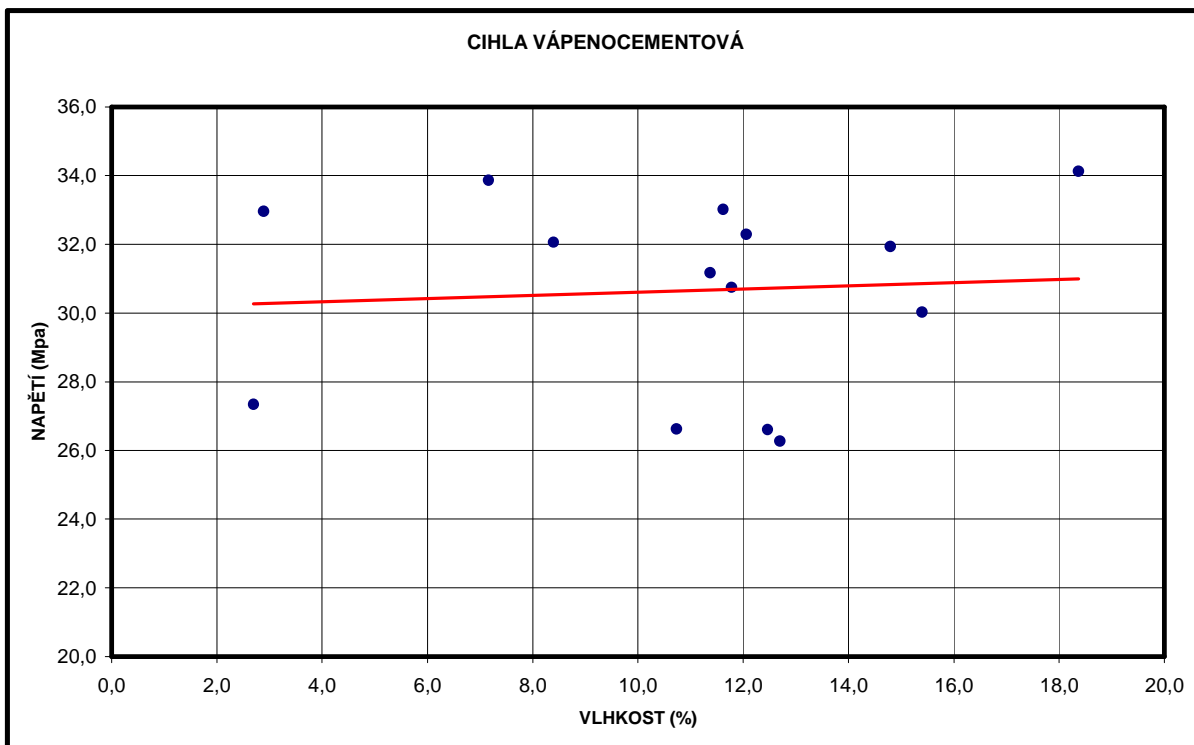
Tabulka 5: Cihla vápenocementová. Zdroj vlastní.

CIHLA VÁPENOCEMNTOVÁ				
DĚLKA(mm)	ŠÍŘKA (mm)	VÝŠKA (mm)	NAPĚTÍ (Mpa)	VLHKOST (%)
289	140	65	27,340	2,70
289	141	65	26,608	12,46
289	141	64	34,129	18,37
290	140	63	30,030	15,40
290	140	65	31,940	14,79
290	139	65	32,960	2,89
290	140	62	31,175	11,37
290	140	63	30,750	11,77
290	140	65	26,624	10,73
290	140	65	33,018	11,62
289	141	65	26,270	12,70
289	141	65	33,871	7,16
289	141	65	32,063	8,39
289	141	65	32,297	12,06

Tabulka 6: Cihla vápenocementová na výšku. Zdroj vlastní.

CIHLA VÁPENOCEMENTOVÁ NA VÝŠKU				
DÉLKA(mm)	ŠÍŘKA (mm)	VÝŠKA (mm)	NAPĚTÍ (Mpa)	VLHKOST (%)
290	140	65	21,909	4,74
290	140	65	21,602	8,80
290	140	65	21,502	8,92

Graf 5: Cihla vápenocementová. Zdroj vlastní.



Závěr z měření pro cihlu vápenocementovou:

Z tabulek je vidět, že cihly jsou přesné, proto je možné je do lisu vkládat více způsoby. Je také zřejmé, že při vložení cihly do lisu na výšku nejsou pevnosti při stejných vlhkostech stejné, jako při vložení nejkratší stranou svisle. To je pravděpodobně způsobeno tím, že cihla není porušena při maximální pevnosti, ale praskne už při nižším napětí. Je možné, že tento jev nastane v důsledku nehomogenity materiálu ze kterého je cihla vyrobena.

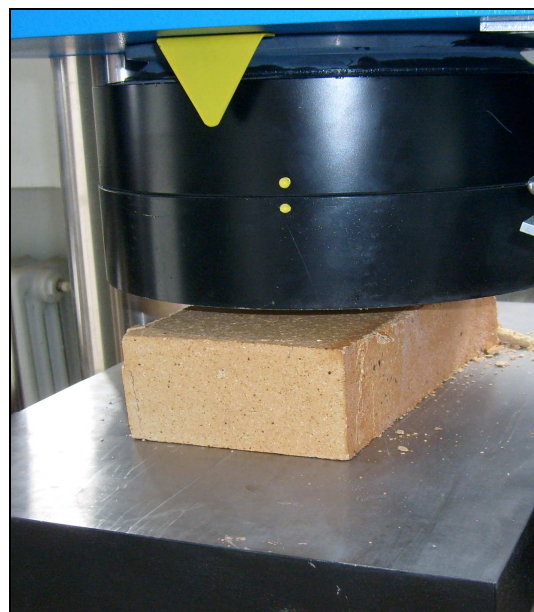
Na grafu lze vidět, že vlhkost nemá vliv na pevnost cihly. V grafu spíše pevnost s vlhkostí stoupá. Můžeme tedy jen usuzovat z praxe, že únosnost by klesla až s dlouhodobým vlhčením cihly.

5.4.4. Cihla šamotová

Cihly byly zkoušeny pouze jedním způsobem (obrázek 30) a (obrázek 31). Rychlost zatěžování byla zvolena 2 Kn/s. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 7 a grafu 6.



Obrázek 30: Cihla šamotová. Zdroj vlastní.

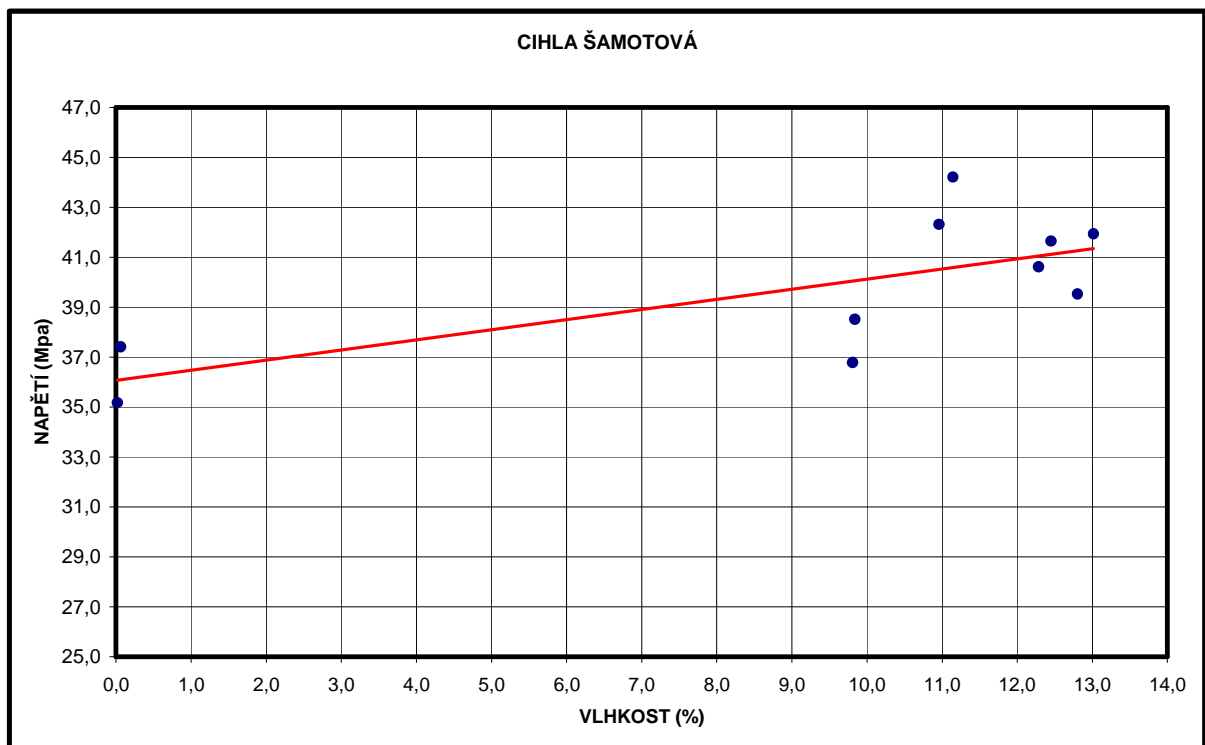


Obrázek 31: Cihla šamotová. Zdroj vlastní.

Tabulka 7: Cihla šamotová. Zdroj vlastní.

CIHLA ŠAMOTOVÁ				
DÉLKA(mm)	ŠÍŘKA (mm)	VÝŠKA (mm)	NAPĚTÍ (Mpa)	VLHKOST (%)
249	123	65	35,180	0,02
251	123	65	39,530	12,80
251	125	64	41,650	12,45
249	124	64	41,935	13,02
248	123	65	37,410	0,06
250	125	65	40,615	12,28
248	125	65	44,216	11,15
249	124	64	38,520	9,84
249	123	65	36,785	9,81
250	125	65	42,322	10,96

Graf 6: Cihla šamotová. Zdroj vlastní.

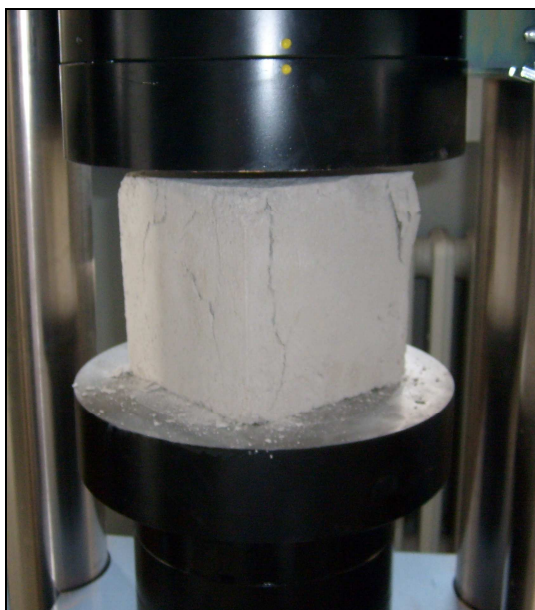


Závěr z měření pro cihlu šamotovou:

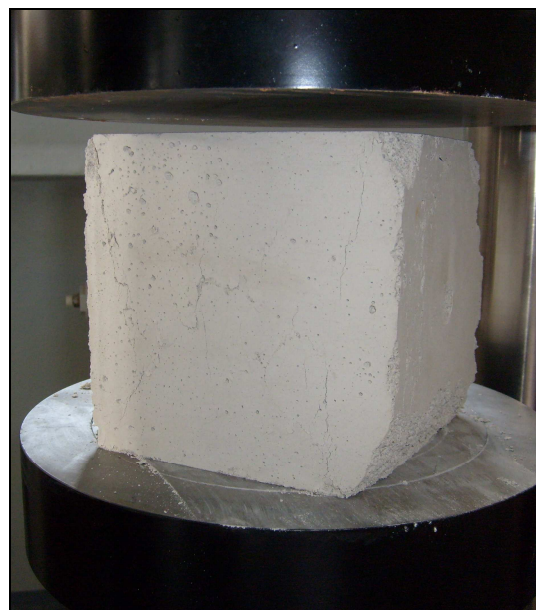
Výsledky měření těchto cihel jsou přesné. Z grafu 6 vyplývá, že cihly s vyšší vlhkostí mají i vyšší pevnost, ale tento výsledek je pouze zdánlivý. Cihly byly totiž namočeny různou dobu ale vlhkost byla téměř stejná. Lze tedy říci, že cihla vodu rychle nasaje a vlhkost se nezvyšuje s nárůstem času. Ze stavební praxe lze usoudit, že vlhká cihla má nižší pevnost, tento jev by zde nejspíše nastal až po delším čase a cihla by začala únosnost ztrácet.

5.4.5. Zdící malta

Vzorky byly namíchány z běžně prodávané zdící malty. Byly vytvořeny přesné krychle o hraně 150 mm, na kterých byl prováděn základní experiment (obrázek 32) a (obrázek 33). Výsledky měření pro zdící maltu jsou uvedeny v tabulce 8 a grafu 7. Rychlost zatěžování byla zvolena 0,5 Kn/s.



Obrázek 32: Zdící malta. Zdroj vlastní.

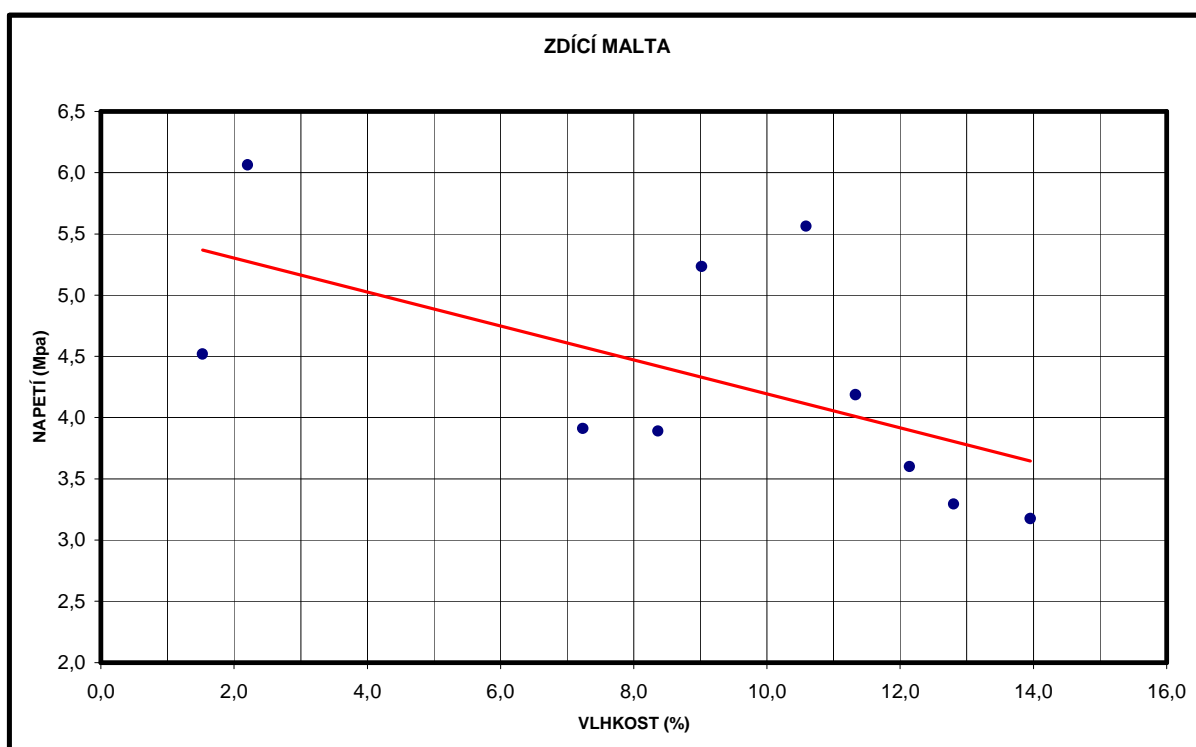


Obrázek 33: Zdící malta. Zdroj vlastní.

Tabulka 8: Zdící malta. Zdroj vlastní.

ZDÍČÍ MALTA	
NAPĚTÍ (Mpa)	VLHKOST (%)
6,063	2,20
3,891	8,36
3,176	13,95
3,294	12,80
3,601	12,14
3,912	7,24
4,520	1,53
5,564	10,59
5,235	9,02
4,187	11,33

Graf 7: Zdící malta. Zdroj vlastní.



Závěr z měření pro zdící maltu:

Zdící malta vykazuje sníženou pevnost v závislosti na vlhkosti. Body v grafu mají tendenci se řadit do lineární závislosti, to potvrzuje předpoklad snížení pevnosti v závislosti na vlhkosti.

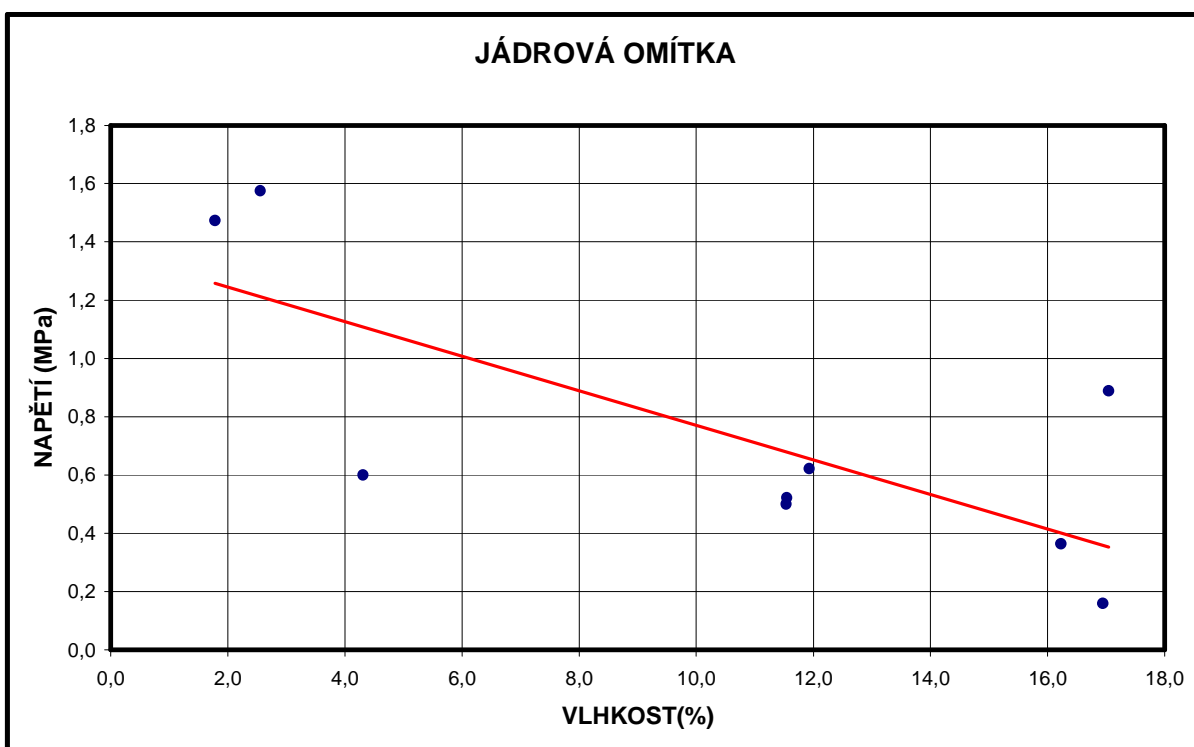
5.4.6. Jádrová omítka

Vzorky byly namíchány z běžně prodávané jádrové omítky. Byly vytvořeny přesné krychle o hraně 150 mm, na kterých byl prováděn základní experiment. Výsledky měření pro jádrovou omítku jsou uvedeny v tabulce 9 a grafu 8. Rychlost zatěžování byla zvolena 0,5 Kn/s.

Tabulka 9: Jádrová omítka. Zdroj vlastní.

JÁDROVÁ OMÍTKA	
NAPĚTÍ (Mpa)	VLHKOST (%)
1,47	1,78
0,16	16,94
1,58	2,55
0,36	16,23
0,89	17,04
0,62	11,93
0,60	4,31
0,50	11,53
0,52	11,55

Graf 8: Jádrová omítka. Zdroj vlastní.



Závěr z měření pro jádrovou omítku:

Jádrová omítka je velmi citlivá na vlhkost. Velmi rychle vlhkost pojme a s ní se rapidně sníží i její pevnost. Z grafu je vidět, že i zde je lineární závislost vlhkosti na pevnosti.

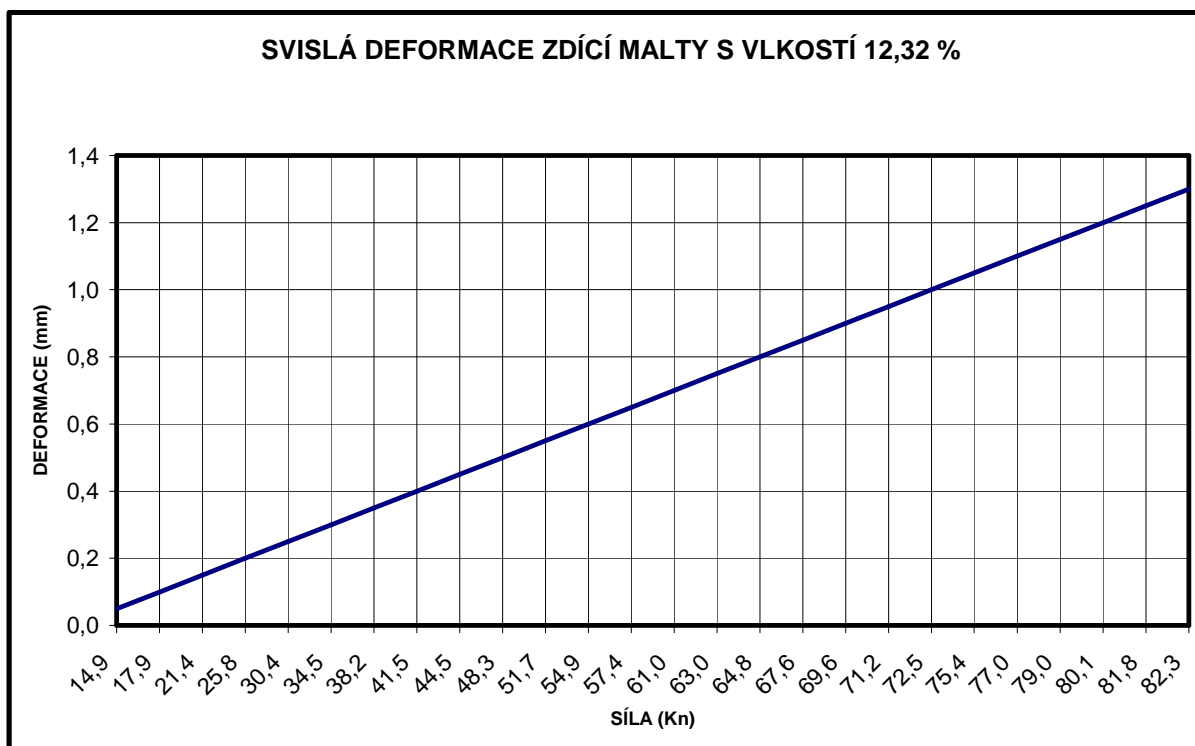
5.4.7. Měření svislých deformací na zdící maltě

Deformace byly měřeny ve svislém směru na válcových vzorcích o průměru 100 mm a výšce 330 mm (obrázek 34). Výsledky měření svislých deformací pro zdící maltu s vlhkostí 12,32% jsou uvedeny v grafu 9 a pro zdící maltu s vlhkostí 1,94 v grafu 10.

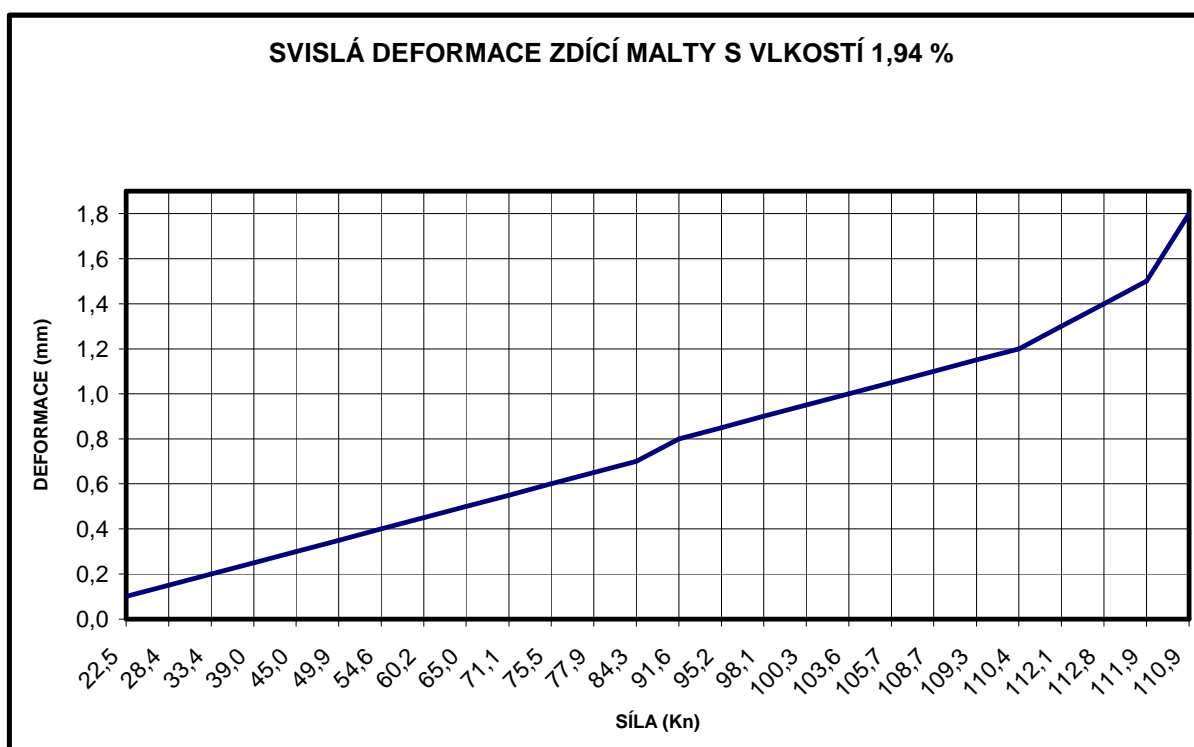


Obrázek 34: Zdící malta. Zdroj vlastní.

Graf 9: Svislá deformace zdící malty s vlhkostí 12,32 %. Zdroj vlastní.



Graf 10: Svislá deformace zdící malty s vlhkostí 1,94 %. Zdroj vlastní.



Hodnocení měření deformací zdící malty:

Pro porovnání byla změřena deformace mokrého vzorku s vlhkostí 12,32 % a suchého vzorku s vlhkostí 1,94%.

Mokrý vzorek je méně pevný, a proto i svislá deformace je menší před jeho porušením. Z grafu je vidět, že síla potřebná k rozdrčení suchého vzorku je větší, tomu odpovídá i závěr, že suchý vzorek je pevnější než mokrý a dokáže přenést i větší deformace.

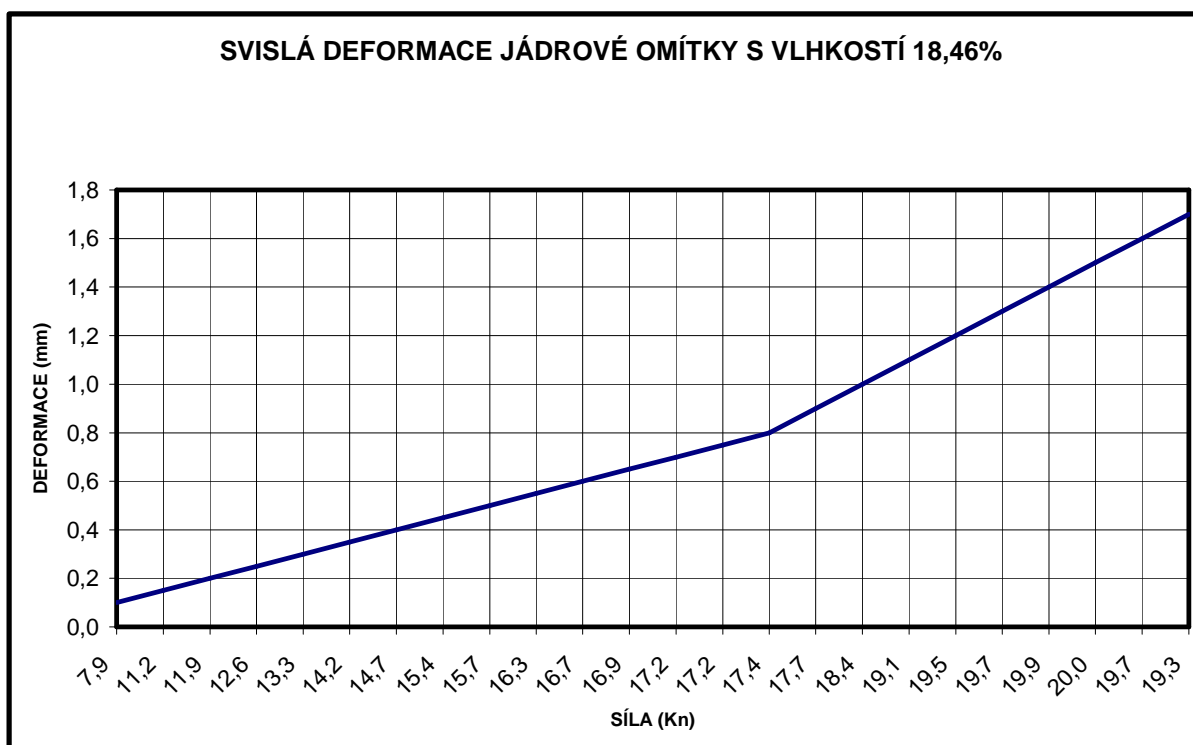
5.4.8. Měření příčných deformací na jádrové omítce

Deformace byly měřeny ve svislém a vodorovném směru na válcových vzorcích o průměru 100 mm a výšce 330 mm (obrázek 35). Výsledky měření svislých deformací pro jádrovou omítku s vlhkostí 18,46% jsou uvedeny v grafu 11 a příčných deformací v grafu 13. Výsledky měření svislých deformací pro jádrovou omítku s vlhkostí 3,36% jsou uvedeny v grafu 12 a příčných deformací v grafu 14.

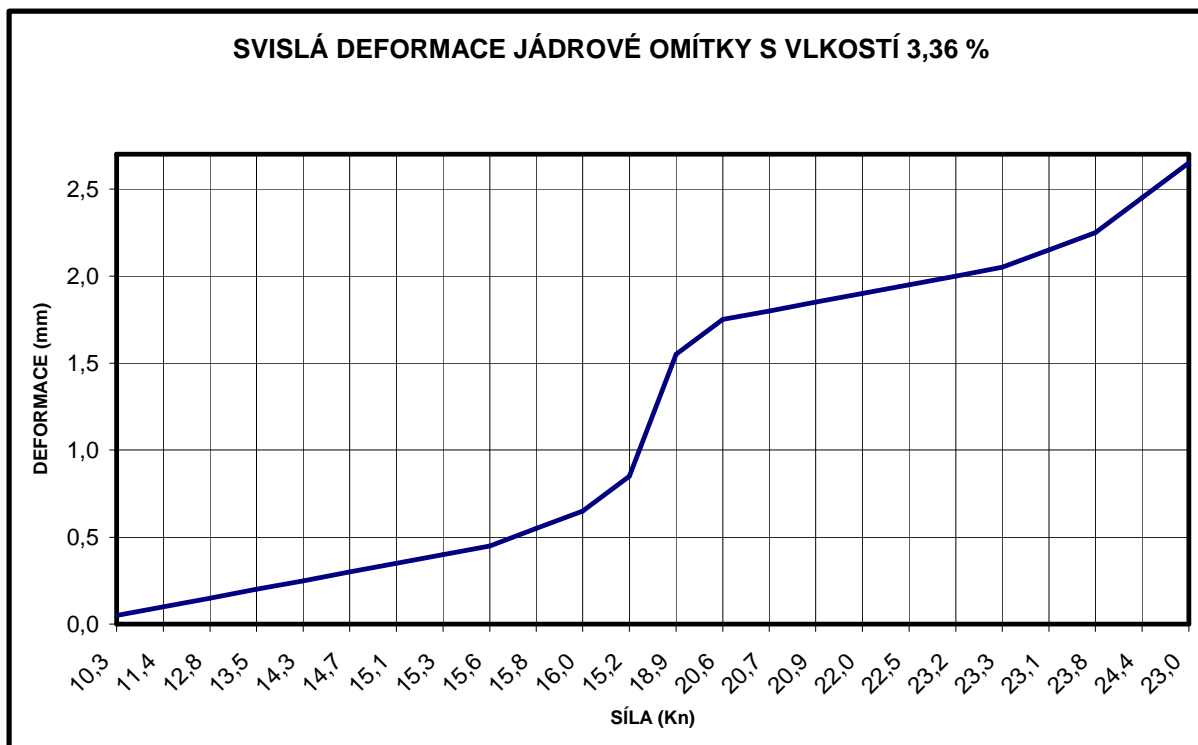


Obrázek 35: Jádrová omítka. Zdroj vlastní.

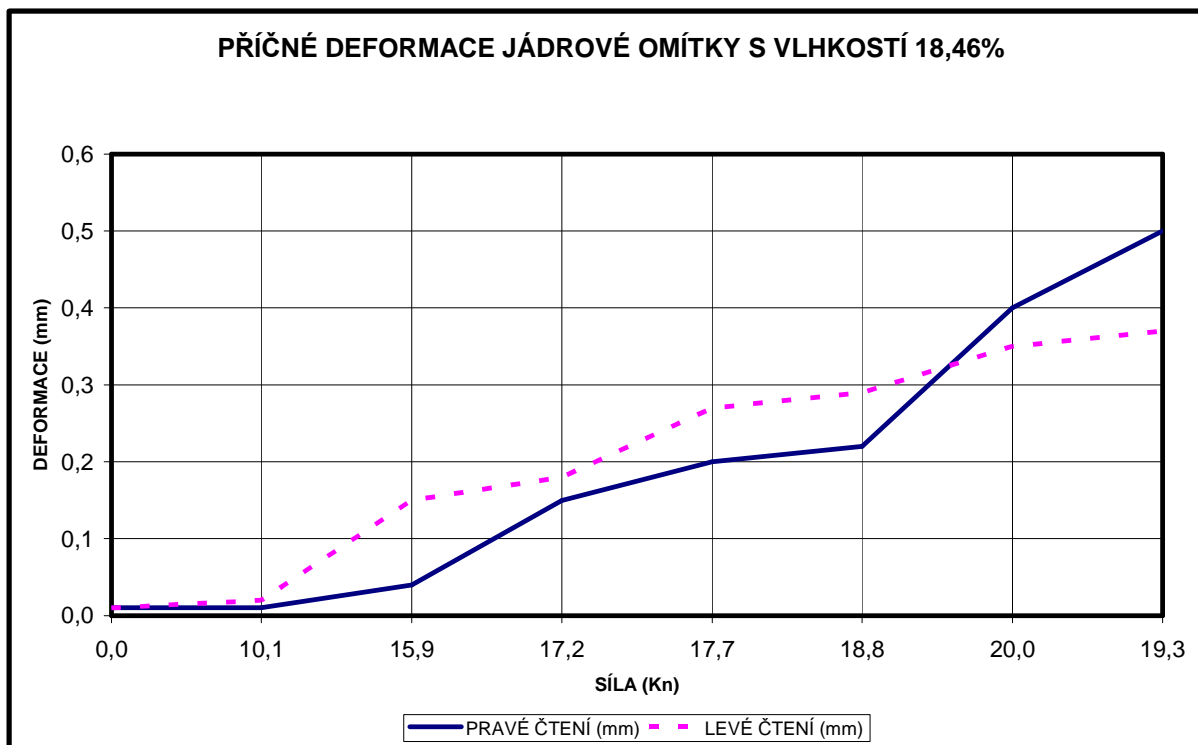
Graf 11: Svislá deformace jádrové omítky s vlhkostí 18,46 %. Zdroj vlastní.



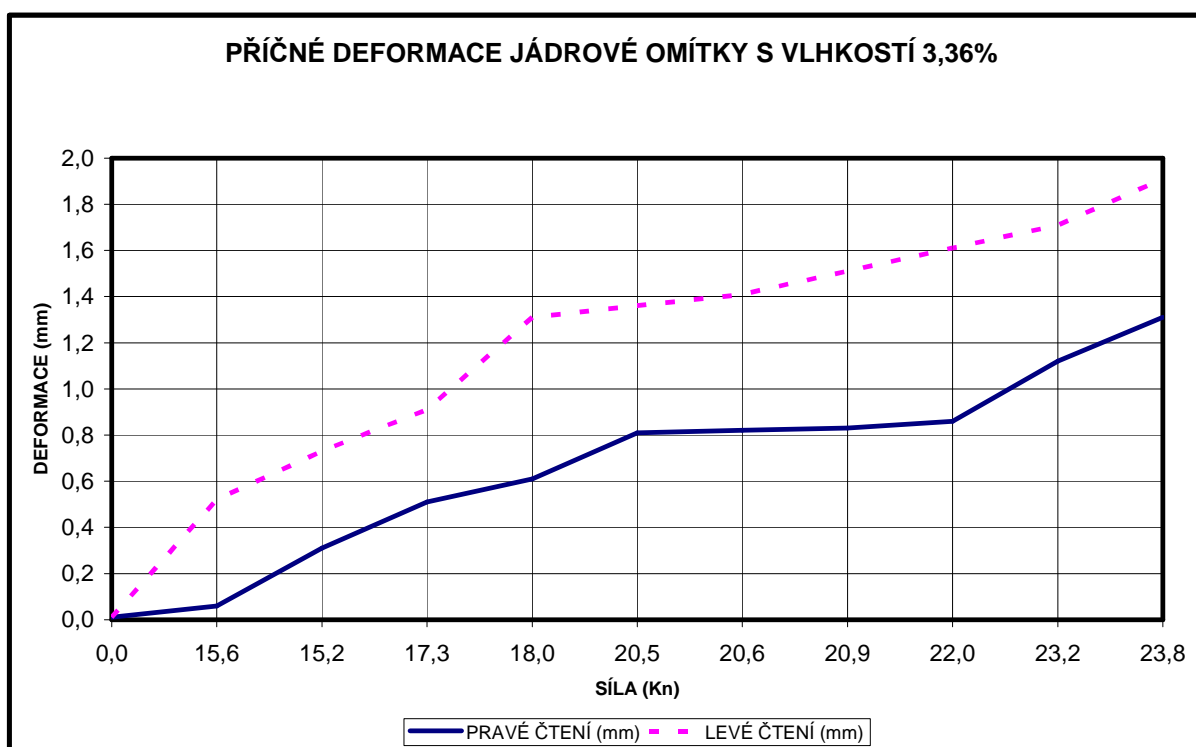
Graf 12: Svislá deformace jádrové omítky s vlhkostí 3,36 %. Zdroj vlastní.



Graf 13: Příčná deformace jádrové omítky s vlhkostí 18,46 %. Zdroj vlastní.



Graf 14: Příčná deformace jádrové omítky s vlhkostí 3,36 %. Zdroj vlastní.



Hodnocení měření deformací zdící malty:

Pro porovnání byla změřena deformace mokrého vzorku s vlhkostí 18,46 % a suchého vzorku s vlhkostí 3,36%.

Svislá deformace pro mokrou omítku je téměř lineární. Suchá omítky vykazuje skokový nárůst deformace, ke kterému došlo asi v polovině měření, při prasknutí vzorku. Příčné deformace jsou výrazně menší u mokrého vzorku - téměř čtyřnásobně, než u suchého vzorku. Vzorek s menší vlhkostí dokáže přenést větší deformace před porušením. I zde je zřejmé, že suchý vzorek má vyšší pevnost.

6. Diskuze výsledků

Dosažené výsledky jsou ve shodě s předpoklady z praxe. U cihly plně pálené byl naměřen 26,4% pokles pevnosti, při zvýšení vlhkosti o 19 %. Pro cihlu lícovku byl naměřen pokles pevnosti 28 %, při zvýšení vlhkosti o 5 %. Cihla vápenocementová a cihla šamotová nevykazují pokles únosnosti, tento jev je ale zdánlivý, k poklesu únosnosti by došlo až za delší čas vlivem degradace materiálu. Lze tedy říci, že cihla vápenocementová a cihla šamotová jsou odolnější z krátkodobého hlediska, než cihla plná pálená a cihla lícovka. Tyto cihly po pojmání vlhkosti začaly prakticky okamžitě ztrácet svoji pevnost. Z pokusů se zdící maltou je zřejmé, že k poklesu pevnosti v závislosti na vlhkosti dojde také a to o 36% při zvýšení vlhkosti o 12,5%. Při pokusech s jádrovou omítkou bylo zjištěno okamžité snížení pevnosti a to o 75 % při zvýšení vlhkosti o 14 %. Při delším namočení by jádrová omítka svoji pevnost ztratila úplně, což je ověřeno praxí.

7. ZÁVĚR

Závěrem této bakalářské práce se vyhodnotí dosažené cíle, které byly v úvodu zadány. Z uskutečněných experimentů byla prokázána mechanickofyzikální závislost, která se mění s obsahem vlhkosti ve zkoušeném materiálu.

Pro cihlu plnou pálenou, cihlu lícovku, jádrovou omítku a zdící maltu se dá říci, že úbytek pevnosti v závislosti na vlhkosti je lineární. Pro cihlu vápenocementovou a cihlu šamotovou výsledek měření není přesný. Z uvedeného měření můžeme pouze vyvodit závěr, že krátkodobá vlhkost únosnost těchto cihel nezmění.

Dalším měřením byly určeny deformace pro zdící maltu i jádrovou omítku. Pro oba materiály jsou deformace téměř lineární. Měření byla zkreslena řadou faktorů. Především malým počtem zkoušených vzorků. Dále pak různou kvalitou vzorků z výroby.

Velkým problémem byly rozměrové charakteristiky vzorků - hrany musí být absolutně rovnoběžné, jinak nedojde k porušení vzorku při jeho maximální únosnosti. Tyto faktory se nejvíce promítly do změřených výsledků. Bakalářská práce svým rozsahem nedává možnost provést pokusy s větším počtem vzorků, které by výsledky zpřesnily.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÍK, Michael, et al. *Odvhlčování staveb*. Praha : Grada Publishing,a.s., 2005. 286 s. ISBN 80-247-0765-9.
- [2] BALÍK, Michael. Zdivo budov po záplavách. *Stavební listy* [online]. 2002, roč. 10 [cit. 2008-03-24], s. 3. Dostupný z WWW: <<http://www.stavlisty.cz/2002/10/zdivo.html>>.
- [3] HEJHÁLEK, Jiří . Principy vztlínání kapalin. *Stavebnictví a interiér* [online]. 2005 [cit. 2008-04-13]. Dostupný z WWW: <<http://si.vega.cz/clanky/principy-vzlinani-kapalin/>>
- [4] HORÁK, Zdeněk, KRUPKA, František. *Fyzika - příručka pro vysoké školy technického směru*. Praha : SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1981. 1129 s.
- [5] [Http://www.aquapol.cz](http://www.aquapol.cz) [online]. c1997 [cit. 2008-03-30]. Dostupný z WWW: <http://www.aquapol.cz/13_druhu_vlhkosti.php>.
- [6] FÁRA, Pavel. *Sanace vlhkého zdiva*. Praha : STOP - Společnost pro technologie ovhrany památek, 2003. 82 s. ISBN 80-86657-02-7.
- [7] KAŠPAR, Ivan, et al. *Sanace vlhkého zdiva budov*. Praha : Dům techniky ČSVTS, 1988. 139 s. ISBN 60-723-88.
- [8] KUTÍLEK, Miroslav. *Vlhkost pórovitých materiálů*. Praha : SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1984. 211 s. ISBN 04-720-84
- [9] MINÁŘ, Ivan . Karlín mezi vodou a mrazem. *Klub Za starou Prahu* [online]. 2003 [cit.2008-05-18].Dostupný z WWW: <http://klub.za.starou.prahu.misto.cz/kauzy/karlin/v_1-2003.htm>
- [10] PŮBAL, Zdeněk , MYŠKA, Milan. Účinky vlhkosti na konstrukce staveb z porézních materiálů. *Tzb info* [online]. 2008 [cit. 2008-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://stavba.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4602&h=270&pl=38>>
- [11] SVOBODA, Lukáš, et al. *Stavební hmoty*. Bratislava : Jaga group,s.r.o., 2005. 471 s. ISBN 80-8076-007-1.
- [12] ŠMÍD, Lubor. *Stavební objekty a zemní vlhkost*. Praha : Svépomoc, 1985. 130 s. ISBN 38-026-85.

Seznam obrázků:

<i>Obrázek 1: Zřícená přední část domu čp. 148 v Křížkové ulici. Zdroj [9]</i>	2
<i>Obrázek 2: Zaplavené město Terezín. Zdroj [2]</i>	3
<i>Obrázek 3: Úroveň vody ve městě. Zdroj [2]</i>	4
<i>Obrázek 4: Kapilární, vzlínající základová vlhkost. Zdroj [5]</i>	5
<i>Obrázek 5: Hygroskopická vlhkost. Zdroj [5]</i>	5
<i>Obrázek 6: Boční pronikající vlhkost. Zdroj [5]</i>	6
<i>Obrázek 7: Voda tlačená, tlaková nebo svahová. Zdroj[5]</i>	6
<i>Obrázek 8: Odstříkující voda. Zdroj [5]</i>	7
<i>Obrázek 9: Vlhkost následkem stavebních poruch. Zdroj[5]</i>	7
<i>Obrázek 10: Vlhkost z dopadajícího deště. Zdroj [5]</i>	8
<i>Obrázek 11: Vsakovací vada. Zdroj [5]</i>	8
<i>Obrázek 12: Vlhkost rušivých polí. Zdroj [5]</i>	9
<i>Obrázek 13: Kondenzační vlhkost. Zdroj [5]</i>	9
<i>Obrázek 14: Nevhodné stavebně technické zásahy. Zdroj [5]</i>	10
<i>Obrázek 15: Kapilární elevace. Zdroj[3]</i>	22
<i>Obrázek 16: Kapilární deprese. Zdroj[3]</i>	22
<i>Obrázek 17: Krajový úhel θ. Zdroj [3]</i>	23
<i>Obrázek 18: Molekulární síly steny jsou větší než síly vody.Zdroj vlastní</i>	24
<i>Obrázek 19: Molekulární síly stěny jsou menší než rtuti. Zdroj vlastní</i>	24
<i>Obrázek 20: Velikost přitažlivých sil mezi molekulami. Zdroj[10]</i>	25
<i>Obrázek 21: Lis Matest. Zdroj vlastní</i>	26
<i>Obrázek 22: Laboratorní sušárna. Zdroj vlastní</i>	27
<i>Obrázek 23: Přesné elektronické váhy. Zdroj vlastní</i>	27
<i>Obrázek 24: Cihla na výšku. Zdroj vlastní</i>	29
<i>Obrázek 25: Cihla na šířku. Zdroj vlastní</i>	29
<i>Obrázek 26: Cihla lícovka na výšku</i>	31
<i>Obrázek 27: Cihla lícovka. Zdroj vlastní</i>	31
<i>Obrázek 28: Cihla vápenocementová na výšku. Zdroj vlastní</i>	33
<i>Obrázek 29: Cihla vápenocementová. Zdroj vlastní</i>	33
<i>Obrázek 30: Cihla šamotová. Zdroj vlastní</i>	35
<i>Obrázek 31: Cihla šamotová. Zdroj vlastní</i>	35
<i>Obrázek 32: Zdicí malta. Zdroj vlastní</i>	37
<i>Obrázek 33: Zdicí malta. Zdroj vlastní</i>	37
<i>Obrázek 34: Zdicí malta. Zdroj vlastní</i>	40
<i>Obrázek 35: Jádrová omítka. Zdroj vlastní</i>	42

Seznam grafů

<i>Graf 1: Pracovní diagram. Zdroj [2].....</i>	<i>14</i>
<i>Graf 2: Zobrazení modulů pružnosti a přetvárnosti. Zdroj [11]</i>	<i>15</i>
<i>Graf 3: Cihla plná pálená na šířku. Zdroj vlastní.</i>	<i>30</i>
<i>Graf 4: Cihla lícovka. Zdroj vlastní.....</i>	<i>32</i>
<i>Graf 5: Cihla vápenocementová. Zdroj vlastní.</i>	<i>34</i>
<i>Graf 6: Cihla šamotová. Zdroj vlastní.....</i>	<i>36</i>
<i>Graf 7: Zdicí malta. Zdroj vlastní.....</i>	<i>38</i>
<i>Graf 8: Jádrová omítka. Zdroj vlastní.....</i>	<i>39</i>
<i>Graf 9: Svislá deformace zdicí malta s vlhkostí 12,32 %. Zdroj vlastní.....</i>	<i>40</i>
<i>Graf 10: Svislá deformace zdicí malta s vlhkostí 1,94 %. Zdroj vlastní.....</i>	<i>41</i>
<i>Graf 11: Svislá deformace jádrová omítka s vlhkostí 18,46 %. Zdroj vlastní.....</i>	<i>42</i>
<i>Graf 12: Svislá deformace jádrová omítka s vlhkostí 3,36 %. Zdroj vlastní.....</i>	<i>43</i>
<i>Graf 13: Příčná deformace jádrová omítka s vlhkostí 18,46 %. Zdroj vlastní.....</i>	<i>43</i>
<i>Graf 14: Příčná deformace jádrová omítka s vlhkostí 3,36 %. Zdroj vlastní.....</i>	<i>44</i>

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Cihla plná pálená na šířku. Zdroj vlastní.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 2: Cihla plná pálená svisle. Zdroj vlastní.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 3: Cihla lícovka. Zdroj vlastní.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 4: Cihla lícovka na výšku. Zdroj vlastní.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 5: Cihla vápenocementová. Zdroj vlastní.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 6: Cihla vápenocementová na výšku. Zdroj vlastní.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka 7: Cihla šamotová. Zdroj vlastní.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabulka 8: Zdicí malta. Zdroj vlastní.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 9: Jádrová omítka. Zdroj vlastní.....</i>	<i>39</i>