



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

# VLIV ANORGANICKÝCH VLÁKEN NA FYZIKÁLNĚ MECHANICKÉ VLASTNOSTI CIHLÁŘSKÉHO STŘEPU

THE EFFECT OF FIBRES ADDITION ON THE PROPERTIES OF BRICK BODY

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Novotný

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

BRNO 2017



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. David Novotný
<b>Název</b>	Vliv anorganických vláken na fyzikálně mechanické vlastnosti cihlářského střeptu
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2016
<b>Datum odevzdání</b>	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

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

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Vývoj tepelně izolačních cihlářských tvarovek pro vnější obvodové zdivo prodělal v posledních letech značný pokrok v oblasti tepelně izolačních vlastností. Následně výrazné snížení objemové hmotnosti tvarovky, resp. jejího střepu vede ovšem také k výraznému poklesu jejich pevnosti.

Cílem diplomové práce je experimentálně posoudit možnost využití vláken jako příměsí v surovinové směsi pro zvýšení pevnosti střepu cihelných tvarovek typu THERM (ČSN EN 771-1) při zachování tepelně izolačních vlastností.

Konkrétní dílčí cíle lze definovat následovně:

- v rámci teoretické části proveďte rešerši týkající se dosavadních zkušeností s využitím rozptýlené vláknité výztuže v cihlářském střepu. Proveďte průzkum trhu a navrhnete vhodný typ vláken pro cihlářský střep,
- posuďte vliv tvaru vláken (délka, tloušťka) a jejich materiálové podstaty (např. sklo, čedič) na vlastnosti výsušku (citlivost k sušení, délkové změny sušením, pevnost) a zejména vypáleného střepu (pevnost, modul pružnosti, součinitel tepelné vodivosti, délková teplotní roztažnost),
- dokumentujte změnu mikrostruktury cihlářského střepu při využití vláken pomocí optické mikroskopie a REM.

Doporučený rozsah práce 60 - 70 stran.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

---

doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

### **Abstrakt:**

Tato diplomová práce řeší možnosti použití anorganických vláken na zlepšení výsledných fyzikálně mechanických vlastností cihelného střepu. Posuzuje se vliv délky vlákna, tloušťka vlákna se pohybuje v řádech mikrometrů. V této práci byla použita vlákna, která jsou komerčně vyráběná pro účely vyztužování, ale i odpadní vlákna, která primárně slouží jako izolace.

### **Klíčová slova:**

anorganická vlákna, čedičová vlákna, keramická vlákna, cihelný střep, mikrovlákná, délka vlákna, fyzikálně mechanické vlastnosti

### **Abstract:**

This diploma thesis will discuss possibilities of using inorganic fibers to improve the mechanical properties of the resulting physical body bricks. Assessment of the effect of fiber length, fiber thickness is in the order of micrometers. In this work we were used fibers which are commercially produced for the purpose of reinforcement, but also waste fibers, which mainly serves as an insulator.

### **Keywords:**

inorganic fibers, basalt fibers, ceramic fibers, brick body, microfibrés, fiber length, physical and mechanical properties

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. David Novotný *Vliv anorganických vláken na fyzikálně mechanické vlastnosti cihlářského střepu*. Brno, 2017. 93 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne .....

.....  
Bc. David Novotný  
Autor práce

## **Poděkování:**

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Radomíru Sokolářovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi velmi pomohly při vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům ÚTHD za pomoc při vyhotovení zkoušek.

## Obsah

<b>1. Úvod</b>	11
<b>2. Cíl práce</b>	12
<b>3. Teoretická část</b>	13
3.1. Historie	13
3.2. Suroviny	13
3.2.1. Cihlářské hlíny	14
3.2.2. Cihlářské jíly	14
3.2.3. Chemické složení cihlářských zemin	14
3.2.4. Mineralogické složení	15
3.3. Výroba	15
3.3.1. Tvorba plastického těsta	15
3.3.2. Zařízení pro přípravu směsi	16
3.3.2.1. Podávací zařízení	16
3.3.2.2. Mlecí zařízení	16
3.3.2.3. Mísící zařízení	16
3.3.2.4. Tvarování	17
3.3.2.5. Zařízení pro tažení plastického těsta	17
3.3.2.6. Zařízení pro sušení	18
3.3.2.7. Zařízení pro výpal	18
3.3.2.7.1. Druhy pecí	19
3.3.2.7.2. Tunelová pec	19
3.4. Vývoj cihel a cihelných bloků	20
3.5. Dosud publikované výzkumy	23
3.6. Anorganická vlákna	29
3.6.1. Ekonomické hledisko	30
3.6.2. Formát vláken	31
3.7. Metodika zkoušek	32



3.7.1. Zkoušky vstupních surovin.....	32
3.7.1.1. Rentgenová difrakční analýza.....	32
3.7.1.2. Diferenční termická a gravimetrická analýza .....	33
3.7.2. Zkoušky plastického těsta.....	33
3.7.2.1. Plastičnost keramického těsta dle Pfefferkorna .....	33
3.7.2.2. Skutečná vlhkost těsta $w_r$ .....	34
3.7.3. Zkoušky na vysušených vzorcích .....	34
3.7.3.1. Citlivost k sušení a délková změna sušením.....	34
3.7.4. Zkoušky na vypáleném střepu .....	36
3.7.4.1. Délková změna výpalem .....	36
3.7.4.2. Celková délková změna.....	36
3.7.4.3. Nasákavost.....	36
3.7.4.4. Objemová hmotnost.....	37
3.7.4.5. Zdánlivá pórovitost.....	37
3.7.4.6. Ztráta hmotnosti pálením.....	38
3.7.4.7. Zdánlivá hustota .....	38
3.7.4.8. Mikrostruktura .....	38
3.7.4.9. Statický modul pružnosti .....	39
3.7.4.10. Pevnost v tlaku.....	40
3.7.4.11. Pevnost v tahu za ohybu .....	40
3.7.4.12. Součinitel tepelné vodivosti.....	41
<b>4. Praktická část .....</b>	<b>42</b>
4.1. Vstupní suroviny.....	42
4.1.1. Cihlářská zemina .....	42
4.1.2. Čedičová vlákna firmy Basaltex .....	44
4.1.3. Keramická vlákna firmy Basaltex .....	45
4.1.4. Skleněná vlákna ANTI - CRAK HP.....	47
4.1.5. Odpadní čedičová vlákna Isover.....	48

4.1.6. Odpadní kord z pneumatik.....	49
4.2. Tvorba zkušebních těles.....	49
<b>5. Výsledky</b> .....	<b>50</b>
<b>6. Diskuze</b> .....	<b>72</b>
<b>7. Závěr</b> .....	<b>85</b>
Seznam použitých zdrojů.....	87
Seznam obrázků.....	89
Seznam tabulek.....	90
Seznam grafů .....	91
Seznam zkratek.....	92

## 1. Úvod

Cihlářský střepek jako takový, je velice specifický materiál. Jeho možnosti ještě nejsou zdaleka tak dobře probádány. Současný trend výroby cihlářských výrobků je takový, že je snaha o největší tepelnou izolačnost cihelného bloku. To souvisí s tím, že se vyvíjejí bloky s nízkou objemovou hmotností a s co nejnižší tloušťkou stěny jednotlivých žeber cihelného bloku. Tloušťka stěny ovšem nejde snižovat do nekonečna, jelikož samotné plastické těsto používané při výrobě, není schopné po vytvoření bloku přenést svoji vlastní váhu a bortí se. Proto se řeší, jak by se dala stěna vyztužit a zlepšit celkové mechanické vlastnosti střepu.

Tato diplomová práce se bude zabývat vlivem anorganických vláken na cihlářský střepek a pozorovat jeho výsledné fyzikálně mechanické vlastnosti. Budou se testovat komerčně vyráběná i odpadní vlákna různých délek a tloušťek, která se budou pohybovat v řádech mikrometrů. Testování bude simulovat výrobu, aby bylo zjištěno, zda bude možné zavedení do výroby bez velkých technologických úprav.

## 2. Cíl práce

Diplomová práce řeší možnost vyztužení keramického střepu cihelných bloků Therm anorganickými vlákny. Vývoj tepelně izolačních cihlářských tvarovek pro vnější obvodové zdivo prodělal v posledních letech značný pokrok, především v oblasti tepelně izolačních vlastností. Toho bylo docíleno snížením objemové hmotnosti, to však vede k výraznému poklesu pevností cihlářských tvarovek.

Cílem diplomové práce je experimentálně posoudit možnost využití vláken jako příměsí v surovinové směsi pro zvýšení pevnosti střepu cihelných tvarovek typu Therm (ČSN EN 771-1) při zachování tepelně izolačních vlastností. Vliv vláken na plastické těsto, vlastnosti výsušků a jeho chování během sušení a především na výsledné fyzikálně mechanické vlastnosti finálního cihelného střepu. Tvorba zkušebních těles bude simulovat výrobu v cihelnách, kdy je směs homogenizována v kolovém mlýnu a následné mletí již plastického těsta ve válcovém mlýnu a odležení výsledné směsi. Pouze tvorba zkušebních těles bude odlišná od velkovýroby, protože bude provedena ručních pýchováním do ocelových forem.

### **3. Teoretická část**

#### **3.1. Historie**

Cihlářství je druhý nejstarší keramický obor v dějinách lidstva. Především se jednalo o snadnou dostupnost materiálů, který nebyl potřeba nijak zvláště upravovat. Nahrazovaly se tak materiály, které byly často nedostupné, jako kámen a dřevo. První tzv. „cihla“ byla v podstatě uplácená hlína do nějaké formy a vysušená na slunci. Takto vyrobené cihly již měly na svoji dobu poměrně dobré vlastnosti, ale neodolávaly vlhkosti, kdy jejím působením docházelo k rozpadávání cihel. Proto další krok ve vývoji cihlářství bylo zvýšit odolnost proti vlhkosti a výrobky se začínaly pálit na nízké teploty. Nejstarší cihelné stavby byly postaveny již v Babylónské říši v období 2000 let před naším letopočtem. Po zlepšení odolnosti cihlářského střepu proti vlhkosti se začalo s vývojem tašek, dutých výrobků a trub pro vodovody a kanalizace. K rozmachu v cihlářské výrobě došlo v 17. století, když se do výroby začaly zavádět stroje.

Výroba byla naprosto bez jakýchkoliv teoretických znalostí a řídila se pouze na základě zkušeností. Rozměry a tvary byly jiné pro každou výrobu, kvalita se lišila s každým výpalem, jelikož teplota výpalu byla velice kolísavá a surovinová směs pokaždé jiná.

V 50. letech 19. století došlo v významném pokroku, kdy se do výroby začaly zavádět vědecké poznatky. Byla vynalezena a sestrojena kruhová pec, později doplněna již plynovým topením a také se začalo využívat kanálových sušáren a odpadního tepla z výpalu. V roce 1910 byla postavena první tunelová pec, která se pro svojí výbornou konstrukci používá dodnes.

Koncem 19. století došlo ke sjednocení formátu cihel a v Evropě byly vydány první normy pro výrobu cihel [1].

#### **3.2. Suroviny**

Pojmem cihlářské zeminy se označují suroviny, které po smíchání s vodou vytvářejí plastické těsto a používají se pro vytváření výrobků v cihlářské výrobě.

Cihlářské zeminy musí být jemnozrnný materiál s obsahem jílu, které po rozdělání s vodou lze dále zpracovávat do požadovaného tvaru. Tyto materiály vznikly zvětráním vyvřelých hornin žuly, ruly a čediče. Použitelnost pro cihlářskou výrobu se určuje reologickým chováním tudíž možností tvarovat vzniklé plastické těsto, citlivostí k sušení a především konečnými vlastnostmi po výpalu.

Cihlářské zeminy dělíme podle obsahu jíloviny na „cihlářské hlíny“ s obsahem jíloviny 20–50 % a na „cihlářské jíly“ s obsahem jíloviny vyšším než 50 %. Zeminy dělíme dále dle obsahu  $\text{CaCO}_3$  na vápenaté s obsahem  $\text{CaCO}_3$  vyšším než 5 % a bezvápenaté s obsahem  $\text{CaCO}_3$  do 5 % [1].

### **3.2.1. Cihlářské hlíny**

Tyto zeminy mají velký obsah hrubších příměsí, které se při zpracování projevují jako ostřiva, obsah jíloviny bývá 20–50 %. Zpracovatelnost je velice dobrá, jelikož se snadno drtí a melou, již po vysušení vykazují výrobky značnou pevnost. Po výpalu mají výrobky dobrou odolnost proti povětrnostním vlivům, pórovitost a pevnost. Vzhledem k velkému rozšíření jsou snadno dostupné a tudíž používané [1].

### **3.2.2. Cihlářské jíly**

Tyto zeminy jsou jemnější než hlíny s obsahem jíloviny vyšším než 50 % a nízkým obsahem příměsí. Díky tomu jsou jíly plastičtější než hlíny. Jíly se většinou přidávají do surovinové směsi pro zlepšení tvárnosti. Hůře se rozdělávají s vodou, protože mají větší soudržnost [1].

### **3.2.3. Chemické složení cihlářských zemin**

V cihlářských zeminách velice kolísá obsah jednotlivých oxidů a jednotlivé prvky jsou většinou vázány, nikoliv přímo ve formě oxidů, ale ve formě křemičitanů, hlinito-křemičitanů atd. Z chemického rozboru se dá většinou pouze usuzovat, jak se daná zemina bude chovat v technologickém procesu.

Vysoký obsah  $\text{SiO}_2$  nám říká, že se jedná o zeminu písčitou, málo plastickou a málo citlivou k sušení. Vysoký obsah  $\text{Al}_2\text{O}_3$  znamená vyšší obsah jíloviny, tudíž vyšší plastičnost, citlivost k sušení a pálení a vyšší mechanickou pevnost. Obsah sloučenin železa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nám zvyšuje tavení a při rychlém výpalu může u již

slinutého střepu způsobovat nadouvání. Obsah CaO zvyšuje pórovitost střepu po výpalu a při výpalu zvyšuje riziko deformace při překročení vypalovacích teplot. Oxidy  $K_2O$  a  $Na_2O$  působí jako taviva a zvyšují pevnost střepu, ale při velkém obsahu můžou vyvolat deformace.

Snížení hmotnosti při výpalu tzv. ztráta žíháním je způsobena odchodem chemicky vázané vody v jílových minerálech, uvolňováním a rozkladem uhličitany a vyhoříváním organických látek, rozkladem sulfidů atd.

Obsah rozpustných solí v cihlářském střepu může vytvářet na povrchu bílé skvrny tzv. „výkvěty“, tyto sírany reagují s vodou a dochází k jejich krystalizaci, pokud se nacházejí uvnitř střepu, může docházet jejich vlivem i k rozpadu výrobků.

Obsah  $CaCO_3$  ve směsi může způsobovat negativní vlivy. Může docházet ke shlukování zrn větších než 1 mm a vytvářet tzv. „cicváry“. Při výpalu dochází k rozkladu  $CaCO_2$  na CaO a  $CO_2$  při skladování reaguje CaO s vodou ze vzdušné vlhkosti a vzniká  $Ca(OH)_2$ , který má větší objem a tudíž dochází k odprýskání či popraskání výrobku [1].

### **3.2.4. Mineralogické složení**

V technologickém procesu je zjištění mineralogického složení mnohem důležitější pro zjištění budoucího chování surovin než chemický rozbor.

Jílovina má velikost částic 0,002 mm a největší podíl tvoří jílové minerály a zbytek tvoří nejílové minerály, které jsou zbytky matečních hornin jako křemen, živec a slída nebo nerosty, které vznikly sedimentací jako kalcit a dolomit. Jílové minerály nám zaručují dostatečnou plastičnost a pevnost [1].

## **3.3. Výroba**

### **3.3.1. Tvorba plastického těsta**

Směs se skládá většinou ze dvou druhů plastických surovin. Suroviny se nejprve pomelou a dokonale zhomogenizují s potřebnou dávkou vody. Mletí suroviny má zajistit dokonalé rozdělení velikosti částic, jelikož jemnost surovin má vliv na plastičnost hmoty a na citlivost k sušení. Při výrobě je potřeba směs zbavit obsahu

vzduchu, který působí jako ostřívo a při výrobě na tažených pásových lisech působí negativně na výrobek. Vzduch je v ústí lisu stlačen a následně dochází k jeho rozpínání a to může způsobovat deformaci.

Při výrobě plastického těsta se místo vody používá horká vodní pára, která se zavádí přímo do hmoty většinou ještě před vstupem do šnekového lisu. Tímto způsobem se docílí lepší plastičnosti těsta s použitím menšího obsahu vody, díky kterému dochází ke snížení rizik a nákladů při sušení a úspoře energií na pohon zařízení, jelikož dochází ke snížení tření ve šnekovém lisu [1].

### **3.3.2. Zařízení pro přípravu směsi**

#### **3.3.2.1. Podávací zařízení**

Podávací zařízení slouží pro kontinuální přísun surovin ze zásobníků k dalšímu kroku zpracování. V cihlářské výrobě se používají skříňové, bubnové a talířové podavače. Skříňové podavače jsou nejpoužívanější, jelikož umožňují dávkovat více surovin v určitém objemovém poměru a zároveň slouží jako zásobníky surovin [1].

#### **3.3.2.2. Mlecí zařízení**

Drtiče a mlýny se používají k rozmělnění surovin na menší částice. Kladivové drtiče se používají pro tvrdé suroviny s nízkou hmotností, dále jsou vhodné na rozmělnění velkých kusů na zrnitost vhodnou pro další mletí. Nejpoužívanější je kolový mlýn, ve kterém se surovina může mlít za sucha, ale nejčastěji se mele surovina za mokra. K dosažení požadované jemnosti se používají válcové mlýny, které bývají dvoustupňové. V prvním stupni válce melou na hrubší zrnitost 3,5–4 mm a druhý pár válců mele na zrnitost 1–0,8 mm, mezera mezi válci vyžaduje častou kontrolu a seřizování [1].

#### **3.3.2.3. Mísící zařízení**

Využívají se k promísení suroviny a zavedení vody do hmoty. Ve výrobně jsou mísiče zařazeny za kolový mlýn a jsou různé druhy mísičů jako talířový, bubnový a korytový. Zavedení více druhů mísičů zajišťuje dostatečnou homogenizaci směsi a dokonalé rozložení vlhkosti před vstupem do vytvářecího zařízení [1].



### **3.3.2.4. Tvarování**

V cihlářské výrobě je nejpoužívanější metodou pro tvarování výrobků z plastického těsta metoda tažení na vakuových šnekových lisech při tlaku 1,5 MPa. Tato metoda je nejvhodnější ze všech, jelikož tvar výrobků má konstantní profil, který se dá tvořit pomocí vytvářecího ústí. Tato metoda lze používat při kontinuálním provozu, což je velice efektivní pro výrobu. Tímto způsobem se vytváří většina cihlářských výrobků. Ovšem při výrobě pálených střešních tašek se využívá po tažení následné lisování tzv. ražení do sádrových, kovových nebo plastových forem, při tomto ražení získává taška svůj reliéf s drážky pro odtok vody [1].

### **3.3.2.5. Zařízení pro tažení plastického těsta**

Provádí se ve vakuových šnekových lisech, kdy je nutné dodržet optimální obsah vody v těstě, který bývá 19–22 %. V důsledku malé vlhkosti se zvyšuje spotřeba energie na pohon zařízení a výrobky mohou vykazovat určité vady například tzv. dračí zuby. Vytvarovaná tělesa z těsta s velkou vlhkostí mají malou pevnost a tudíž je složitá manipulace. Vysoká vlhkost vede ke vzniku vad v důsledku velkého smrštění a zvyšuje náklady na sušení výrobků.

Zvýšení plastičnosti těsta při nižším obsahu vody lze docílit propařováním těsta před vstupem do šnekového lisu a to vodní párou o teplotě 40–80 °C, nebo přehřátou vodní párou. Nejvhodnější je zavádění páry do těsta v korytovém nebo protlačovacím mísiči.

Šnekový lis se skládá z komory lisu, předústí a vytvářecího ústí. Předústí je velice důležité, jelikož tvoří přechod z kruhového průřezu komory na průřez ústí, v tomto místě dochází ke změně pohybu těsta z rotačního na posuvný a vyrovnává se zde pulsování vzniklé rotací šneku. Konstrukce musí umožňovat vznik tlaku v těstě, při nedokonalé konstrukci předústí vznikají na výrobcích vady a to především trhliny povrchové i vnitřní, nebo dokonce dochází k odlučování vody. Při vytváření může docházet ke vzniku orientované textury, která má vliv na smrštění při sušení a způsobuje vnitřní trhliny. Vznik textury je způsoben destičkovitým tvarem jílových částic, které se orientují rovnoběžně se stěnami lisu, aby kladly co nejmenší odpor.

Orientaci lze narušit vhodným zařízením uvnitř lisu, které orientaci narušují a vhodnou zrnitostí výrobní hmoty [1].

### **3.3.2.6. Zařízení pro sušení**

V dnešní době se klade důraz na kvalitu výrobků a proto je sušení velice náročné, vzhledem k technologii sušení, ale i energetické náročnosti. Výrobky se suší v sušárnách, kde je možnost regulace sušícího procesu. Smrštění se při sušení nedá eliminovat, jelikož vlhkost při vstupu do sušárny je 15–20 % a vysušení je požadováno do vlhkosti 2 %, smrštění tudíž musí být stejnoměrné.

Při sušení vzniká rozdíl v obsahu vody uvnitř výrobků a na povrchu, to způsobuje pnutí, které může zapříčinit deformace, trhliny nebo zhroucení výrobků. Pro úspěšné vysušení je potřebné znát vlastnosti a chování materiálu, jelikož různé materiály mají odlišnou citlivost k sušení.

Pro sušení se nejčastěji využívá odpadní teplo z chladícího pásma pecí, jelikož je to nejekonomičtější. Vzduch lze také ohřívat v ohřivačích vzduchu, nebo je v sušárnách přímo umístěné parní nebo elektrické topení, ale toto je vzhledem k odpadnímu teplu z výpalu neekonomické, a proto se využívá v případech, kdy není možné použít odpadní teplo [1].

### **3.3.2.7. Zařízení pro výpal**

Výpal je nejhlavnější fází výroby cihlářského střepe, kdy výrobky získávají charakteristické vlastnosti, kterými jsou pevnost, pórovitost, odolnost proti povětrnostním vlivům a především typický vzhled. V první fázi výpalu se odstraňuje technologická voda max. 2 % a chemicky vázaná voda v jílových minerálech a vzniká  $\text{SiO}_2$  obsažené v jílových minerálech. Při teplotě výpalu 850–900 °C dochází k rozkladu uhličitanů  $\text{CaCO}_3$  za vzniku  $\text{CaO}$  a pórovitosti,  $\text{CaO}$  reaguje s  $\text{SiO}_2$  a vznikají křemičitany vápenaté. Je důležité dokonalé rozptýlení  $\text{CaCO}_3$  ve směsi, aby ve střepe nevznikali velké shluky  $\text{CaO}$ , které při styku s vodou reagují na  $\text{Ca(OH)}_2$  za značného objemového nárůstu [1].

### 3.3.2.7.1. Druhy pecí

Pecní zařízení pro výpal cihlářských výrobků prošlo velkým vývojem. Nejdříve se vypalovalo v jednoduchých periodických pecích, poté se začalo využívat odpadního tepla a začaly se využívat kruhové pece, následně se začaly používat moderní kontinuální pece. V současné době se v moderních provozech vypalují zdící prvky většinou ve velkoprofilových tunelových pecích. Provoz pecí je řízen počítačem a je naprosto automatický, čas výpalu se obvykle pohybuje mezi 20–30 hodinami [1].

### 3.3.2.7.2. Tunelová pec

Tunelová pec se dá rozdělit na tři pásma, předehřívací, žárové a chladicí. Jednotlivá pásma se dělí na několik sekcí s různou teplotou. Samotný výpal je dán rychlostí pohybu pecních vozíků s výsušky pecním kanálem a délkou jednotlivých úseků s nastavenými teplotami. Rychlost pecních vozíků je při daném režimu konstantní, průběh vypalovací křivky je řízen délkou úseků s různými teplotami.

Předehřívací pásmo, zde se výsušky zahřívají z normální teploty na teplotu 600 °C. Do pece vjíždějí naplněné pecní vozíky v určitých intervalech a při vjezdu je nutné zabránit vstupu vzduchu, který snižuje účinnost pece, aby se tomuto jevu zabránilo používají se tlakové clony. Při předehřívání je hlavním dějem odvod vody, který způsobuje pokles pevnosti střepu. Dalším dějem je přeměna  $\beta$  křemene na  $\alpha$  křemen, která nastává při 573 °C a nastává objemový nárůst křemene, proto je potřeba rychlost nárůstu korigovat, aby nedošlo k popraskání materiálu.

Žárové pásmo je hlavní část pece, kde dochází k vystavení polotovaru největší teplotě, je důležité zajistit rovnoměrné prohřívání celé skládky na pecním vozíku. Důležité je také rozmístění hořáků, aby docházelo k dokonalé cirkulaci plamene.

Chladicí pásmo je nejcitlivější úsek ve výrobě keramiky, jelikož v něm mohou vznikat vady výrobků. Materiál se vlivem chlazení smršťuje a tudíž je potřeba zajistit, aby nebyla rychlost chlazení příliš vysoká. Teplota střepu by se totiž nedokázala vyrovnávat s teplotou okolí a to by zapříčinilo vznik tahových napětí ve střepu, především v povrchových vrstvách. Vznik příliš velkého pnutí by mohl způsobit porušení výrobku. U chlazení do 600 °C se využívá přítomnosti taveniny, která dokáže pnutí vyrovnávat. Při chlazení pod 600 °C se musí respektovat zpětná modifikace

křemene při teplotě 573 °C, která vede ke smršťování zrn křemene. Spojení těchto dvou vlivů, kdy dochází ke smršťování zrn křemene a k napětí vyvolaným teplotním gradientem, může vést ke vzniku trhlin. Při chlazení se v oblasti modifikační přeměny v teplotní oblasti 600–450 °C využívá chladicí prodlevy, aby se docílilo vyrovnání teplotního gradientu v materiálu a dosáhlo se bezproblémové modifikační přeměny. V další fázi chlazení pod 450 °C lze proces opět urychlit [1].

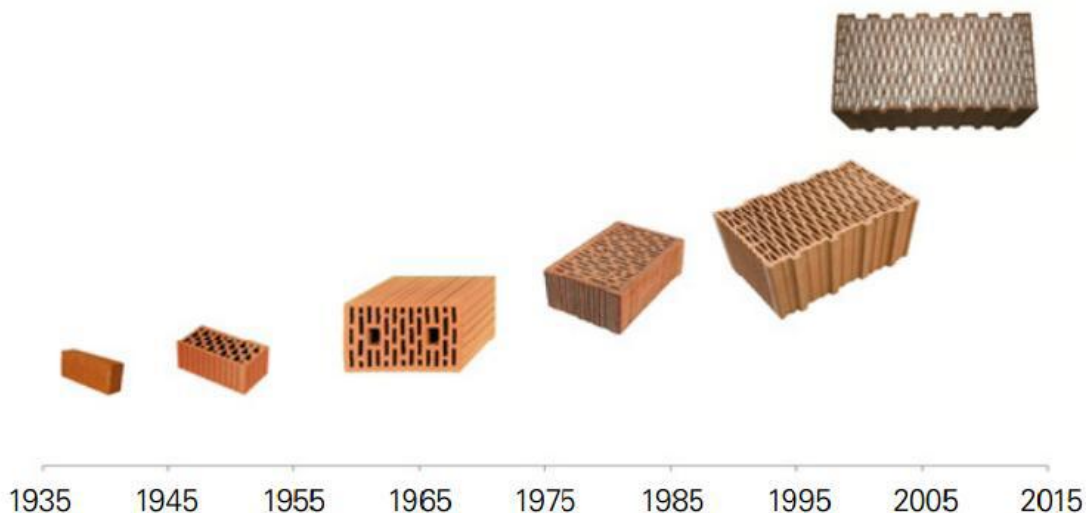
### 3.4. Vývoj cihel a cihelných bloků

Cihla jako taková, je stavební materiál, který se skládá z cihlářské hlíny a po výpalu získává svoje konečné vlastnosti. Vývoj cihly lze z historie výroby popsat následovně. Za první pálený cihelný výrobek se považuje cihla plná pálená, která se vyrábí dodnes a používá se k rekonstrukcím budov a případně pro malé stavby. Dalším vývojovým článkem byla cihla příčně děrovaná typu CDm. V období 1961–1980 se objevuje cihla typu CD Týn, což je první velkoformátový cihelný blok. V 90. letech se rozšiřuje na trhu cihla typu Therm se suchou styčnou spárou mezi bloky, kdy se jedná o systém pero/drážka. Po roce 2000 přichází na trh první broušené cihly Therm, které umožňují zdění na tenkovrstvou maltu. Z vývoje je tedy patrné, že nedocházelo pouze k vývoji tvaru cihel, ale vývojem prošel i samotný střep a spojovací materiály. Z toho lze tedy konstatovat, že vývojem prošly nejen samotné zdící prvky, ale celý zdící systém.

Vývoj cihel se ubíral směrem ke zlepšování tepelně technických vlastností, čímž se docílilo děrováním. Tento vývoj přinesl úsporu materiálu, energií na výrobu a vylehčení samotného prvku. Větší formát prvků a zdokonalení systému zdění přispěl k efektivnější a rychlejší práci. Tento vývoj ovšem měl za následek snižování pevností bloků.

Označení Cihel	Pevnost v tlaku [N.mm <sup>-2</sup> ]
CPP	18-80
CDm	20
CD Týn	2-8
Therm	10

Tab. 1: Vývoj pevností.



Obr. 1: Vývoj tepelně izolačních tvarovek [2].

V současné době je ve stavebnictví rozšířen trend na výstavbu nízkoenergetických a pasivních domů. To se promítá do požadavků normy ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov-Část 2: Požadavky.

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]		
	Požadované hodnoty ( $U_{N,20}$ )	Doporučené hodnoty ( $U_{rec,20}$ )	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy ( $U_{pas,20}$ )
Stěna vnější	0,3	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	

Tab. 2: Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 [2].

V posledních 10 letech se normy a požadavky na zdivo zpřísnily na dvojnásobek a u zdiva došlo ke zvýšení tepelného odporu na trojnásobek. V současné době je požadavek na tepelný odpor zdiva  $U = 0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , což splňuje většina bloků Therm tloušťky 440 mm, bloky s tloušťkou 500 mm mají hodnoty tepelného odporu kolem  $0,16 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , která je doporučena pro výstavbu pasivních domů.

K dosažení ještě lepších parametrů tepelného odporu u bloků je vkládání tepelné izolace do samotných bloků. Tepelná izolace je integrována do dutin bloků

a jedná se o expandovaný polystyren, polyuretan, minerální vatu nebo perlit. Výsledný hotový výrobek dosahuje tepelného odporu  $U = 0,11 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , při tloušťce 440 mm.

**Vývoj cihelných bloků má následující směry:**

- Vývoj samotného střepeu - kdy se řeší snížení tepelné vodivosti při zachování maximálních pevností.
- Rozložení otvorů - bloky s větším počtem malých dutin dosahují lepších tepelně technických parametrů, než bloky s malým počtem velkých otvorů.
- Kombinace s integrovanými izolacemi - vývoj izolačních materiálů.
- Zdicí malty a lepidla - zdicí systém složen z bloků a malty musí být komplexní a je nutné snížení tepelné vodivosti u malt, při zachování pevností [2].



*Obr. 2: Druhy bloků THERM plněných tepelnou izolací [2].*

### 3.5. Dosud publikované výzkumy

Byl proveden výzkum na zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností přírodní hydraulické vápenné malty přidavkem čedičových a skleněných vláken. Bylo zjištěno, že oba typy vláken upravují tuhost a pevnost v ohybu. Podle dostupných informací to lze považovat za jeden z prvních pokusů o použití čedičových vláken, jako výztuž u vápenných malt. Ve výzkumu byly testovány tři různé typy čedičových vláken, dva typy vláken byly mleté a jeden typ vláken byl sekaný. Délka a průměr vláknů mají vliv na pevnosti a vlastnosti kompozitu.

Bylo zjištěno, že se zvyšujícím obsahem vláken již od 3 hmotnostních %, klesá pevnost tlaku i pevnosti v tahu za ohybu. Různé mechanické a fyzikální vlastnosti byly zkoumány a výsledky potvrdily, že obsah čedičových vláken může významně ovlivnit chování referenčních malt. Vlákna sekaná délky 6,35 mm měla vliv na zvýšení houževnatosti a pevnosti v ohybu.

Bylo prokázáno, že čedičové vlákna ovlivňují absorpci vody referenčních malt a způsobují pokles kapilární absorpce vody, bez ohledu na druh čediče a typu malty [3].

Další provedené analýzy ukazují, že dlouhá vlákna jsou vhodnější pro výrobu kompozitů s vysokou pórovitostí. Kompozity vyrobené s dlouhými vlákny vykazovaly vysokou pórovitost, nízkou tepelnou vodivost a vynikající elastické vlastnosti. 3D struktura vláknité keramiky následně ovlivňuje vzorek fyzicky a zlepšuje mechanické vlastnosti vzorku. Materiál, který má mít uplatnění při vysokých teplotách jako tepelná izolace, by měl mít nízkou hustotu a vysokou pórovitost. Proto jsou dlouhá vlákna vhodnější pro výrobu vláknitých tepelných izolantů.

U vláknité keramiky však vzniká omezení pro délku použitých vláken, protože dlouhá vlákna mají tendenci se kroutit. Následně společně s materiálem mají snahu tvořit shluky zapletených vláken, což má za následek obtížné tvoření homogenní suspenze a ucpávání výrobních zařízení.

Během výzkumů bylo zjištěno, že při obsahu dlouhých vláken dochází ke zvýšení pórovitosti a snížení lineárního smrštění. Pórovitost je závislá na lineárním smrštění a dochází ke zvýšení pórovitosti v závislosti na poklesu lineárního smrštění. Tento jev platí pro vzorky s obsahem stejného typu vláken, ale s rozdílnou délkou.

Při porovnání dvou sad vzorků je patrné, že délka vláken byla hlavním faktorem, který ovlivňoval konečné struktury vláknité keramiky. Podle předpokladu byla pevnost vláknité keramiky vyšší, než u klasické keramiky. Kompozit vyrobený s 10 % vláken vykazoval největší pevnost v tlaku. U vzorků bylo pozorováno, že všechny měly nízkou tepelnou vodivost od 0,08 do 0,23 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Nízká tepelná vodivost byla přičítána hlavně unikátně propojeným pórům, které vytvořila náhodně uspořádaná vlákna v vláknitém keramickém tělesu.

Lomová chování této vláknité keramiky se liší od křehkého lomu tradičních keramik. Youngův modul byl v rozmezí 10–70 MPa, který je poměrně nižší než u keramického materiálu. Tento nízký modul pružnosti znamená, že navržená vláknitá keramika je potenciální elastický materiál [4].

Experimenty provedené na vláknitých keramických vzorcích prokázaly, že nežádoucí smrštění může být zčásti potlačeno přidáním organické nebo anorganické výztuže. U všech výztuží byl pozorován trend klesajícího smrštění s rostoucím obsahem výztuže ve vzorcích.

Jak je zjevné ze všech výsledků pevnostních zkoušek, ať už v tahu za ohybu nebo v tlaku, tak s rostoucím obsahem výztuže roste i pevnost v tahu za ohybu a tlaku. Při překročení maximální optimální dávky vláken, začínají pevnosti klesat, neboť jílové minerály již nejsou schopny dostatečně držet materiál pohromadě a dochází ke shlukování části výztuže. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  klesaly s rostoucím množstvím přidaných výztuží. To prokázalo testování na vzorcích s maximálním zastoupením výztuže, kdy materiál jevil jen velmi nízké pevnosti a téměř se drotil, ale hodnoty součinitele  $\lambda$  se výrazně snižovaly.

Z celkového hlediska lze konstatovat, že byl experimentálně prokázán pozitivní vliv přísad organických a anorganických výztuží na mechanické a tepelně vodivostní vlastnosti hliněných stavebních materiálů [5].

Použití vláken do stavebních materiálů má velký potenciál a z následujícího výzkumu jsou patrné i pozitivní přínosy pro betonové konstrukce. Beton je kompozitní materiál s vysokou pevností v tlaku, ale nízkou pevností v tahu. Vlákna se používají pro zlepšení pevnosti v ohybu, houževnatosti, schopnosti deformace a tvárnosti betonu.



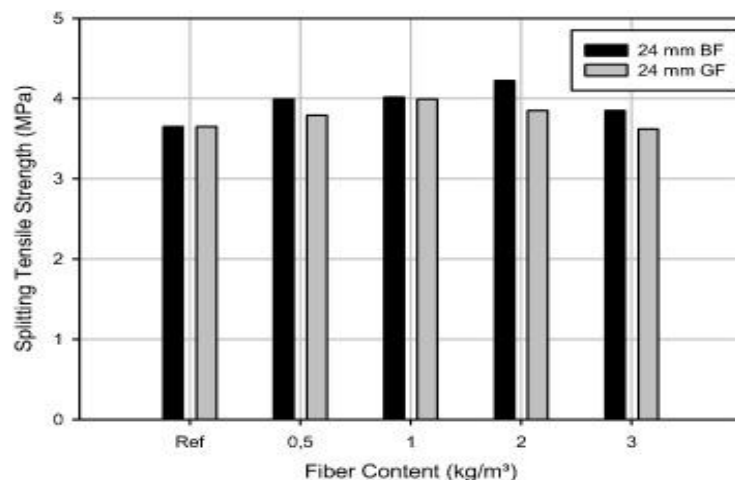
Existuje mnoho vláken, které se používají v betonových materiálech. Mezi nejběžněji používaná výztužná vlákna patří skleněná, uhlíková, kevlarová, polypropylenová a čedičová vlákna.

V této studii, byl pro výrobu použit portlandský cement CEM I 42.5R. Poměr vody ku cementu se udržoval konstantní a to 0,50 pro všechny směsi. Pro dosažení správné zpracovatelnosti byl použit plastifikátor v dávce 1 %.

Pro výrobu vzorků byly použity dva druhy vláken, čedičová a skleněná, které byly upraveny na délku 24 mm. Vlákna byla dávkována ve 4 různých dávkách (0,5; 1; 2 a 3 kg/m<sup>3</sup>), aby bylo docíleno odhalení účinků na výsledné mechanické vlastnosti.

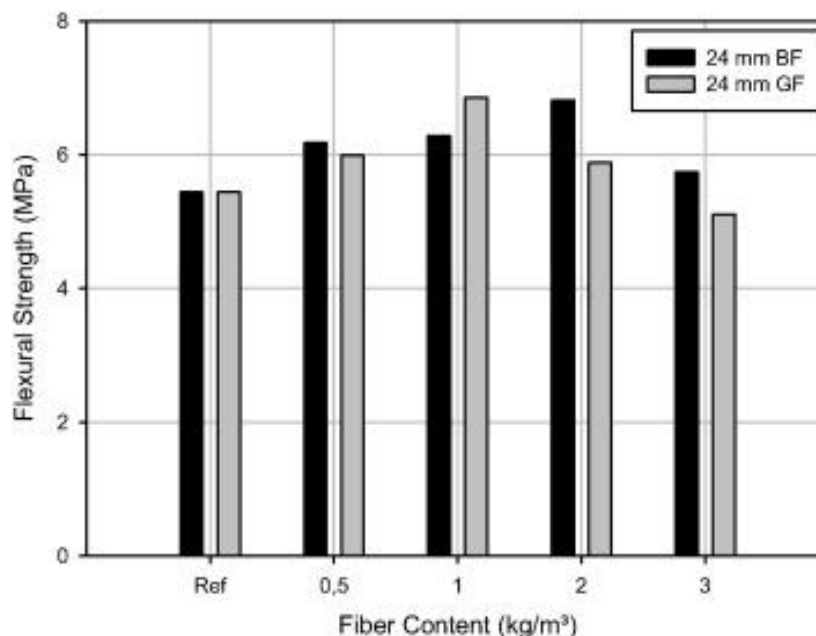
Z výzkumu bylo patrné, že použitá vlákna (čedičová a skleněná) při dávkování (0,5, 1, 2 a 3 kg/m<sup>3</sup>) nemají žádný významný vliv na pevnost v tlaku. Nicméně, zvýšená pevnost v tlaku byla prokázána u vzorku s obsahem 3 kg/m<sup>3</sup> čedičových vláken, kdy došlo ke zvýšení oproti referenčnímu vzorku bez obsahu vláken o 7 %.

Z výsledků bylo patrné, že skleněné i čedičové vlákna zvyšují tažnost oproti referenčnímu vzorku. Největší nárůst pevností v tahu za ohybu byl u vzorku s obsahem 2 kg/m<sup>3</sup> čedičových vláken a to 10 % oproti referenčnímu. U vzorků s obsahem skleněných vláken byla největší zaznamenaná pevnost v tahu za ohybu u vzorku s obsahem 1 kg/m<sup>3</sup>. Pevnost v tahu za ohybu však u vzorků s vyšším obsahem vláken jak čedičových, tak skleněných začala klesat.



Graf. 1: Pevnost v tahu za ohybu, čedičová (BF) a skleněná (GF) vlákna [6].

Modul pružnosti vzorků byl stanoven pomocí rovnice s použitím výsledků z testu na třibodový ohyb. Hodnoty modulu pružnosti se pohybovaly v rozmezí 31,500–37,300 MPa a nejvyšší hodnoty byly zaznamenány u vzorku s obsahem čedičových vláken s množstvím 3 kg/m<sup>3</sup> a u vzorku s obsahem skleněných vláken s množstvím 2 kg/m<sup>3</sup>. [6]



Graf. 2: Modul pružnosti, čedičová (BF) a skleněná (GF) vlákna [6].

Následující studie se zabývá vyztužením betonu čedičovými vlákny, kdy se zkoumalo použití krátkých čedičových vláken pro zlepšení vlastností betonu. Ze studie vyplynulo, že čedičová vlákna mohou být snadno smíchána s betonem bez vzniku segregace. Čedičová vlákna byla použita pro zlepšení mechanických vlastností betonu a byla před dávkováním do betonové směsi namočena do epoxidu. Vlákna byla předem upravena na délky 10; 20 a 30 mm a dávkovala se do betonu v množství 3; 5 a 7 kg/m<sup>3</sup>.

Výsledky testů ukázaly, že přítomnost předem namočených čedičových vláken neměla významný vliv na pevnost v tlaku betonu, nicméně použití vláken mělo pozitivní vliv na zvýšení modulu pružnosti. Z této studie vyplývá, že přidání čedičových vláken o délce 30 mm do betonu v rozmezí dávkování od 3–5 kg/m<sup>3</sup> mělo za následek zlepšení mechanických vlastností s přijatelným zhoršením zpracovatelnosti čerstvé směsi.

Ve studii se sledovala pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu s obsahem vláken v rozmezí od 0,1 do 0,5 %. Výsledky testů ukázaly, že při zvýšení obsahu čedičového vlákna dojde ke zvýšení pevnosti v tahu za ohybu betonu a to až do objemových podílů 0,3 %, ale na pevnost v tlaku nemá obsah vláken vliv [7].

Cílem tohoto výzkumu bylo zhodnotit relativní zásluhy dvou typů čedičových vláken. Čedičové vlákno si nedávno získalo popularitu jako potenciální konkurent ve výztužných aplikacích díky svým vynikajícím mechanickým vlastnostem a šetrnosti k životnímu prostředí při jeho výrobním procesu. Čedičová vlákna mají typickou pevnost v tahu o něco vyšší, než skleněná vlákna, a mnohokrát vyšší, než ocelová vlákna. Kromě obvyklých sekaných čedičových vláken (BF), byla nedávno vyvinuta nová čedičová vlákna pro použití do betonů a produkt se nazývá minibars (MB). Minibars jsou v podstatě zmenšená čedičová vlákna vyztužená polymerní výztuží. Vlákna BF byla upravená na délku 36 mm a 50 mm. BF svazky jsou ploché, široká asi 0,6 mm a jsou vyrobená z vláken o průměru 16  $\mu\text{m}$ . Vlákna MB použité v této studii byla vyztužena pojivem na bázi epoxidové pryskyřice o průměru čedičových vláken 17  $\mu\text{m}$ . Vlákna MB mají délku 43 mm a průměr 0,65 mm. Vlákna MB jsou ve srovnání s BF tužší. Další vlákna použité v této studii jsou ocelová SF délky 38 mm a šířky 0,9 mm se zahnutými konci.

Přídavek vláken typu BF zvýšil pevnost v tahu za ohybu. Zlepšení pevnosti v tahu za ohybu bylo větší při použití delších vláken typu BF 50 mm oproti 36 mm. Přídavek vláken délky 50 mm typu BF 12  $\text{kg/m}^3$  mělo za následek zvýšení pevnosti v tahu za ohybu, které bylo srovnatelné s dávkou vláken ocelových 40  $\text{kg/m}^3$ . Přídavek vláken typu MB zvýšil pevnost v tahu za ohybu. Pevnost se zvyšovala s rostoucí dávkou vláken. Ovšem při vyšších dávkách vláken bylo obtížné posoudit, jestli se výsledný materiál choval jako kompozit. Přídavek vláken typu MB 20  $\text{kg/m}^3$  mělo za následek zvýšení pevnosti v tahu za ohybu, které bylo srovnatelné s dávkou vláken ocelových 40  $\text{kg/m}^3$ .

Bylo prokázáno, že jak BF i MB může výrazně zvýšit pevnost v tahu za ohybu betonu, je však obtížné posoudit závažnost zvýšení pevnosti v tahu z důvodu rozdílů v hodnotách odvozených z přímého tahu [8].

Pro posílení výrobků na bázi cementu se používají různé typy vláken, jako je azbest, celulóza, ocel, polypropylen, polyvinylalkohol, uhlík, aramid, čedič, polyetylén a sklo. Předchozí studie ukázaly, že přidání čedičových vláken výrazně zlepšilo pevnost v tahu, snížilo křehkost a zlepšilo houževnatost, odolnost proti deformaci a pevnost v tahu za ohybu betonu. Výzkumy ukázaly, že výsledky dynamického modulu pružnosti a mrazuvzdornosti jsou samozřejmě lepší, než u prostého nevyztuženého betonu.

Při použití čedičových vláken při dávkování vyšší než 0,25 %, bylo pozorováno mírné zvýšení pevnosti v tlaku. Nejvyšší pevnost v tlaku byla u dávky čedičových vláken 0,5 % a zvýšení oproti referenčnímu vzorku bylo o 5,1 %, u skleněných vláken byla při dávce 0,75 % zaznamenána nejvyšší pevnost v tlaku a to o 6,6 % oproti referenčnímu vzorku. Tyto výsledky jsou srovnatelné s pevnostmi dosaženými při použití ocelových vláken, při dávce 0,50 % ocelových vláken byl nárůst pevnosti v tlaku o 7,1 %.

Přídavek skleněných vláken do betonu a malty zvýšil pevnost v tahu za ohybu až o 17 %. Přídavek čedičových vláken zvýšil pevnost tahu za ohybu betonu až o 24 %. Tento nárůst byl přičítán překlenovacímu působení vláken přes praskliny, které brání šíření mikrotrhlin pouze na počátku zatěžování. Nicméně na rozdíl od čedičových vláken, nebylo pozorováno žádné významné zvýšení pevnosti po 0,50 % dávky skleněných vláken.

Z analýzy výše uvedených výsledků bylo zjištěno, že zlepšení pevnosti v tahu za ohybu se stává zřejmé, se zvýšením dávky vlákna. Nicméně, byl-li objemový podíl čedičových vláken zvýšen nad 0,50 %, byl pozorován mírný pokles pevnosti v ohybu. Podobná pozorování prokázala, že když se dávka čedičových vláken zvýší až na 0,5 %, tak dochází k mírnému poklesu pevností v tahu za ohybu ve srovnání s vlákny vyztuženého betonu s vlákny o dávce 0,3 %. V průběhu míchání bylo vizuálně pozorováno, že se čedičová vlákna mohla snadno rozptýlit v matrici ve srovnání se skleněnými vlákny [9].

### 3.6. Anorganická vlákna

Na našem trhu jsou dostupná anorganická vlákna mnoha druhů. Pro tento výzkum se omezil výběr pouze na vlákna s tloušťkou v řádech  $\mu\text{m}$ . Tato tloušťka vláken odpovídá většině vyráběných vláknitých tepelných izolací dostupných na trhu. Při výrobě těchto tepelných izolací vzniká mnoho odpadů, jelikož se řežou na přesné formáty a tudíž nejde zabránit vzniku odpadu. Tento odpad se dále zpracovává přímo ve výrobě, kdy se opětovně vrací do vysoké pece, nebo je exportován k dalšímu zpracování. Tepelně izolační desky vznikají rozvlákněním nerostu a není u nich sledována tloušťka vláken, ale řeší se celistvá deska. Velké množství odpadu vzniká také při plnění cihelných bloků minerální vatou, tento odpad se však nedá opětovně vrátit do vysoké pece, jelikož je často znečištěn při plnění, skladování atd. Použití těchto odpadních vláken je velice výhodné, jelikož je to ekonomické a dá se říci, že i ekologické, protože jde o zpracování odpadu, který nemá dostatečné využití a končí na skládkách. Další druhy vláken již jsou průmyslově vyráběné a mají velice široké uplatnění. Vlákna na bázi čediče, skla a keramiky jsou vyráběna v určité tloušťce ve formě nekonečného prvku. Jednotlivé vlákna se různě splétají a tím se zvyšuje jejich pevnost v tahu. Z vláken se vytvářejí různé rohože, rovingy nebo se sekají na stejné délky. Tyto vlákna se používají jako příměs do betonu, kde působí proti vzniku smršťovacích trhlin a vyrábějí se z nich různé kompozitní materiály vyztužované polymerními látkami např. FRP kompozity.

Čedič je hornina s vysokou pevností a trvanlivostí. Čedičová vlákna jsou nový druh anorganického vlákna vyrobená vytlačováním taveného čediče a jsou k dispozici na obchodním trhu. Průměr jednotlivých čedičových vláken se pohybuje mezi 13–20  $\mu\text{m}$ . Čedičová vlákna neobsahují žádné další přísady, což je velice ekonomické při výrobě. Je známo, že čedičová vlákna mají lepší pevnost v tahu, než skleněná vlákna a dovedou přenést vyšší napětí, než uhlíková vlákna. Mají i dobrou odolnost vůči chemikáliím a zatížení při nárazu a ohni s méně jedovatými výpary. Takže čedičová vlákna mají potenciál být vhodnou náhradou za skleněná, ocelová a uhlíková vlákna v mnoha stavebních aplikacích [9].

### 3.6.1. Ekonomické hledisko

Jelikož cihlářské výrobky mají být relativně levné a dostupné ve velkém množství, nemůže cenu výrobků zvyšovat surovina pro výrobu nebo doprava surovin. Z tohoto důvodu vznikla většina cihlen v blízkosti ložisek surovin vhodných k výrobě a používané suroviny jsou odpady nebo nízkonákladové suroviny.

Pro výzkum bylo použito několik druhů vláken dostupných na našem trhu. Speciální anorganická vlákna jsou průmyslově vyráběná již pro použití jako ztužující složka, ale některá vlákna jsou v podstatě odpadní látky vzniklé při výrobě materiálů pro jiné využití. Odpadní surovina je samozřejmě výhodnější z ekonomického hlediska, jelikož nezvyšuje konečnou cenu výrobku. V následujících ukázkách jsou zpracovány ceny jednotlivých 1 % dávek vláken, které jsou vztaženy v potřebném množství potřebném na výrobu cihelného bloku Therm 44.

Cena cihelného bloku Therm 44 se pohybuje kolem 50,- Kč/kus a hmotnost bloku je kolem 20 kg.

Čedičová vlákna od firmy Basaltex upravená na délku 2,54 cm stojí 100,- Kč/kg. Dávka 1 % vláken tudíž bude 0,2 kg a bude stát 20,- Kč. Firma Basaltex produkuje i odpadní vlákna vzniklá při stříhání nekonečného prvku, která byla použita pro tento výzkum. Vlákna bylo nutné před dávkováním upravit na požadovanou délku. Dávka tohoto typu vlákna při dávce 1 % zvýší cenu konečného výrobku o 40 %, což je dosti finančně nerentabilní.

Keramická vlákna od firmy Basaltex ve formě granulek stojí 40,- Kč/kg. Dávka 1 % vláken tudíž bude 0,2 kg a bude stát 8,- Kč. Tato vlákna bylo nutné před dávkováním rozplavit ve vodě. Přídavek tohoto vlákna zvýší finální cenu výrobku o 16 %.

Skleněná vlákna ANTI - CRAK HP se prodávají v délkách 0,6 a 1,2 mm a stojí 382,- Kč/kg. Dávka 1 % vláken tudíž bude 0,2 kg a bude stát 76,50,- Kč. Doporučené dávkování těchto vláken do betonu je 3–6 kg / m<sup>3</sup>, cihelný blok má objem 0,02717 m<sup>3</sup>, což vychází na 0,0815–0,1630 kg vláken na 1 cihelný blok a představuje 0,4–0,8 %, cena pak vychází 31,10–62,27,- Kč. Přídavek tohoto vlákna

při dávce 1 % zvýší konečnou cenu o 153 % což je pro výrobek likvidační, jelikož by ztratil konkurenceschopnost na trhu.

Odpadní čedičová vlákna vzniká při výrobě tepelných izolací firmy ISOVER. Jedná se o odpad vzniklý při formátování tepelně izolačních desek, který se dá zpětně přidávat do vsázky pece. Odpad vzniklý při plnění bloků minerální izolací nemá využití pro zpětnou výrobu izolace, jelikož bývá znečištěn při plnění a manipulaci. Využití tohoto odpadu vzniklého přímo v cihelně je velice ekonomické, protože se nebude muset řešit jeho likvidace. Odpadní vlákna jsou bezcenná a navíc jejich využití eliminuje náklady na likvidaci.

Odpadní kord z pneumatik vzniká při ekologické likvidaci pneumatik, kdy je snaha separovat kaučuk, ocelová vlákna a textilní vlákna. Kaučuk nelze zpětně použít pro výrobu pneumatik, proto se používá jako palivo především v cementárnách. Ocelová vlákna se používají zpětně pro výrobu nové oceli. Textilní vlákna se v současné době používají jako podklady a doskočiště pro koně. Pro tento výzkum byla použita odpadní textilní vlákna s obsahem kaučuku i ocelových vláken. Jelikož se jedná o odpad, cena těchto vláken je nulová.

### **3.6.2. Formát vláken**

Průzkum trhu ukázal širokou dostupnost komerčně vyráběných vláken čedičových, keramických a skleněných, které jsou již upravovány na přesné délky podle žádosti odběratele. Následně bylo zjištěno, že odpady z tepelných izolací nemají takové využití, jaké by si výrobci představovali, protože jejich zpracování pořád není dle vyjádření výrobců ekonomické. Většina odpadních vláken ve výrobních tepelných izolacích se zpětně vrací do vysokých pecí a jsou znovu roztavené a rozvlákněné.

Průměry všech dostupných vláken komerčních i odpadních se pohybují v řádech mikrometrů, což je vhodné pro tento výzkum, jelikož výzkum s použitím nanovláken neprokázal zlepšení mechanických vlastností.

Délky komerčních vláken, které jsou již hojně používané do betonů, cementových potěrů a polymerních stěrek mají standardní délky 0,6 a 1,2 cm. Komerční vlákna pro výrobu polymerních kompozitů jsou upravována na délku

25,4 mm, ale většinou se dodávají ve formátu nekonečných prvků a zpracovatel si je upraví na požadovanou délku sám.

Pro výzkum na zjištění zlepšení mechanických vlastností byly zvoleny dva typy délek vláken a to 0,6 a 1,2 mm, jelikož tyto vlákna jsou snadno dostupná, delší vlákna je snadné upravit na tuto délku, ale především tyto vlákna jsou vhodná pro následné použití a aplikaci do reálné výroby. V současné době se tloušťka stěny cihelného střepu u cihelných bloků Therm pohybuje v rozmezí 5–7 mm a u bloků plněných minerální izolací je tloušťka stěny cihelného střepu 20 mm, tudíž použití 6 a 12 mm je výhodné jak z technologického, tak i ekonomického hlediska. Výrobny si nemusejí objednávat speciální délku vláken, nebo budovat stříhací linky pro úpravu nekonečných vláken ve svém podniku.

Dalším faktorem pro volbu těchto délek vláken je chování vláken ve šnekovém lisu, kdy by se mohlo vlivem dlouhých vláken ucpávat zařízení a mohlo by docházet k namotávání vláken na šnek lisu. Docházelo by k jeho ucpávání a narušení kontinuálního provozu, což by mohlo vézt k výrobě kazových výrobků a v krajních případech i zastavení celé výroby a následnému čištění ucpané části a velké ztráty ve výrobě.

### **3.7. Metodika zkoušek**

#### **3.7.1. Zkoušky vstupních surovin**

##### **3.7.1.1. Rentgenová difrakční analýza**

Tato metoda slouží ke stanovení mineralogického složení zkoumaných materiálů, která je založena na odrazu tzv. difrakci dopadajícího RTG záření. Ze známých hodnot mezimřížkových vzdáleností minerálů je možné určit, jaké minerály se ve zkoumaném vzorku nacházejí.

Výstupem ze zkoušky je rentgenogram nebo též difraktogram, kde na ose X jsou hodnoty úhlů difraktovaného záření  $2\theta$  a na ose intenzita. Ostrá maxima intenzity jsou nazývány tzv. píky a dle úhlů s největším píkem, tudíž intenzitou stanovíme dle kartotéky obsažené minerály [10].



### 3.7.1.2. Diferenční termická a gravimetrická analýza

DTA je dynamická tepelně analytická metoda založená na měření rozdílu teplot mezi zkoušeným vzorkem a inertním standardem současně zahřívány v peci přístroje. Při zahřívání dochází k reakcím, při kterých je uvolňováno teplo tzv. exotermní reakce nebo dochází ke spotřebovávání tepla tzv. endotermní reakce. V současných přístrojích je také zaznamenávána změna hmotnosti v závislosti na teplotě.

Výstupem je tzv. DTA křivka, kde jsou patrné endotermní a exotermní reakce, TG křivka zaznamenávající úbytek hmotnosti a DTG křivku, což je první derivace TG křivky. TG křivka umožňuje přesně určit počátek a konec reakcí [10].

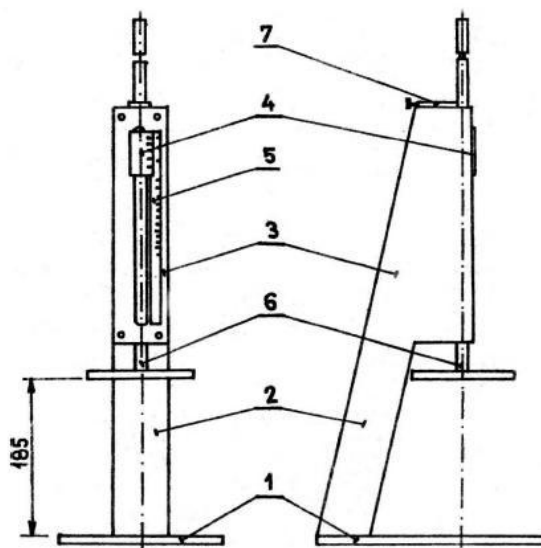
### 3.7.2. Zkoušky plastického těsta

#### 3.7.2.1. Plastičnost keramického těsta dle Pfefferkorna

Z plastického těsta se vytvoří pomocí kovové formy zkušební těleso tvaru válce o průměru  $33 \pm 0,5$  mm a výšce  $40 \pm 0,1$  mm. Zkušební přístroj se vyrovná do vodorovné polohy pomocí stavěcích šroubů a těleso umístíme na podložku do přístroje. Uvolněním závaží o hmotnosti 1200 g z výšky 185 mm dojde k deformaci vzorku. Následně se změří výška deformovaného vzorku a vypočte se deformační poměr dle vztahu:

$$d = \frac{h_1}{h_0}$$

$h_1$	výška válečku po deformaci	[mm]	
$h_0$	výška válečku před deformaci	[mm]	
$d$	deformační poměr	[-]	[11]



Obr. 3: Pfefferkornův přístroj; 1 - podložka, 2- nosná rám, 3 - uložení vodící tyče, 4 - nonius, 5 - milimetrová stupnice, 6 - vodící tyč s padací deskou, 7 spoušť [11].

### 3.7.2.2. Skutečná vlhkost těsta $w_r$

Zkušební vzorky se po vytvoření zváží, poté se suší na vzduchu a následně se umístí do sušárny, kde jsou sušeny při teplotě 110 °C do konstantní hmotnosti.

Skutečná vlhkost těsta se vypočte ze vztahu:

$$w_r = \frac{m_z - m_s}{m_s} \cdot 100$$

$w_r$	skutečná vlhkost těsta	[%]
$m_z$	hmotnost vzorku po vytvoření	[g]
$m_s$	hmotnost vzorku po vysušení	[g] [12]

### 3.7.3. Zkoušky na vysušených vzorcích

#### 3.7.3.1. Citlivost k sušení a délková změna sušením

Je to schopnost keramických výlisků se vysušovat bez rizika trhlin, nebo deformací. Čím je citlivost k sušení vyšší, tím hrozí vyšší riziko poškození. Citlivost k sušení se stanovuje graficky z tzv. Bigotovy křivky, která popisuje závislost vlhkosti výlisku na jeho smrštění. Odpařování vody je doprovázeno smršťováním

jen do určitého kritického množství vlhkosti  $w_k$  a dalším vysušováním se již nemění, nebo jen nepatrně.

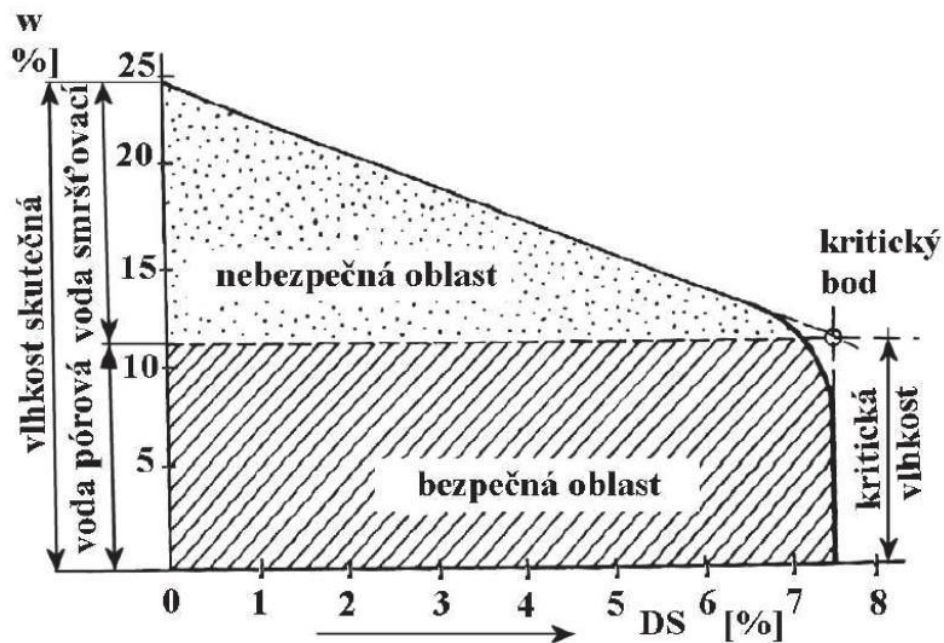
Na vytvořeném vzorku se udělají dva zářezy a vzdálenost mezi nimi změříme posuvným měřítkem s přesností na 0,1 mm. Vzorek se nechá sušit volně na vzduchu položen na roštu na své druhé největší straně. V pravidelných intervalech se zaznamenávají hodnoty. Až dojde k ustálení hodnot vzorky se umístí do sušárny a vysuší se při teplotě 110 °C do konstantní hmotnosti a opět se změří.

$$DS = \frac{l_i - l_z}{l_z} \cdot 100$$

DS      délkové smrštění                      [%]

$l_z$       vzdálenost rysek po odlisování      [mm]

$l_i$       vzdálenost rysek                          [mm]



Obr. 4: Bigotova křivka k určení kritické vlhkosti [13].

Koeficient citlivosti k sušení podle Bigota se vypočte ze vztahu:

$$CSB = \frac{w_r - w_k}{w_k}$$

CSB	citlivost k sušení dle Bigota	[-]
$w_r$	skutečná vlhkost vzorku	[%]
$w_k$	kritická vlhkost	[%] [13]

### 3.7.4. Zkoušky na vypáleném střepu

#### 3.7.4.1. Délková změna výpalem

Vzorky po vysušení se změří posuvným měřítkem s přesností na 0,01 mm vzorky se nechají vypálit a znovu se změří.

Délková změna se vypočte dle vztahu:

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

DP	délková změna výpalem	[%]
$l_s$	délka vzorku po vysušení	[mm]
$l_p$	délka vzorku po výpalu	[mm] [14]

#### 3.7.4.2. Celková délková změna

Celková délková změna je součtem délkové změny sušením a délkové změny výpalem.

$$DC = \frac{l_p - l_z}{l_z} \cdot 100$$

DC	celková délková změna	[%]
$l_z$	délka vzorku po vytvoření	[mm]
$l_p$	délka vzorku po výpalu	[mm] [14]

#### 3.7.4.3. Nasákavost

Nasákavost je schopnost vypáleného keramického materiálu přijímat kapalinu. Stanovuje se v % jako poměr hmotnosti vody pohlcené zkušebním vzorkem ke hmotnosti vysušeného vzorku.

Vypálené vzorky se uloží do varné nádoby s vodou tak, aby se nedotýkaly stěn nádoby ani vzájemně mezi sebou a byly zcela ponořeny. Voda se přivede do varu, který se dále udržuje po dobu 2 hodiny. Odpařená voda se doplňuje. Po ukončení varu se nádoba nechá v klidu vychladnout na teplotu místnosti. Potom jsou jednotlivé vzorky postupně vyjímány z nádoby, na povrchu otírány vyždímanou vlhkou tkaninou a ihned váženy.

$$NV = \frac{m_n - m_s}{m_s} \cdot 100$$

NV	nasákavost	[%]	
$m_s$	hmotnost vzorku po vysušení	[g]	
$m_n$	hmotnost nasáklého vzorku	[g]	[15]

#### 3.7.4.4. Objemová hmotnost

Udává hmotnost střepe včetně dutin a pórů vztaženou na jednotku objemu. Stanovuje se hydrostatickým vážením.

$$OH = \frac{m_s}{m_n - m_{nv}} \cdot \rho_v$$

OH	objemová hmotnost	[kg.m <sup>-3</sup> ]	
$m_s$	hmotnost vzorku po vysušení	[g]	
$m_n$	hmotnost nasáklého vzorku	[g]	
$m_{nv}$	hmotnost nasáklého vzorku hydrostaticky zváženo	[g]	[15]

#### 3.7.4.5. Zdánlivá pórovitost

Udává poměr objemu otevřených pórů k celkovému objemu vzorku včetně pórů. Zkoušku se provádí společně se stanovením objemové hmotnosti a nasákavosti.

$$PZ = \frac{m_n - m_s}{m_n - m_{nv}} \cdot 100 = NV \cdot \frac{OH}{1000}$$

PZ	zdánlivá pórovitost	[%]	
----	---------------------	-----	--

$m_s$	hmotnost vzorku po vysušení	[g]	
$m_n$	hmotnost nasáklého vzorku	[g]	
$m_{nv}$	hmotnost nasáklého vzorku hydrostaticky zváženo	[g]	[16]

### 3.7.4.6. Ztráta hmotnosti pálením

Zkušební vzorky budou zváženy před a po výpalu a ztrátu hmotnosti výpalem stanovíme podle vztahu:

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

ZP	ztráta hmotnosti pálením	[%]	
$m_s$	hmotnost vzorku po vysušení	[g]	
$m_p$	hmotnost vzorku po výpalu	[g]	[16]

### 3.7.4.7. Zdánlivá hustota

Udává hmotnost vysušeného vzorku na jednotku objemu včetně uzavřených pórů. Vzorky jsou váženy hydrostaticky.

$$ZH = \frac{m_s}{m_s - m_{nv}} \cdot 1000$$

ZH	zdánlivá hustota	[kg.m <sup>-3</sup> ]	
$m_s$	hmotnost vzorku po vysušení	[g]	
$m_{nv}$	hmotnost nasáklého vzorku hydrostaticky zváženo	[g]	[16]

### 3.7.4.8. Mikrostruktura

Pro pozorování mikrostruktury byla zvolena metoda zobrazení optickým mikroskopem, jelikož použité vlákna mají tloušťku v řádech  $\mu\text{m}$  a tato metoda je dostačující. Optický mikroskop se skládá z optické části, která zajišťuje vznik a promítání obrazu a mechanické části, která chrání optickou část a tvoří tělo mikroskopu. Optický mikroskop je složen ze soustavy čoček, které tvoří objektiv a okulár [17].

### 3.7.4.9. Statický modul pružnosti

Statický modul pružnosti v tlaku se stanovuje na základě Hookova zákona a to z deformací, které nastanou při známém zatížení. Zkušební lis musí být schopen vyvolávat určené zatížení se stanoveným časovým nárůstem napětí a být schopen toto napětí udržet v požadované výšce. Dále musí být chopen zatížení regulovat v závislosti na deformaci zkušební vzorku. U zkušebních vzorků se snímací zařízení umístí tak, aby měření probíhalo na svislých plochách. Snímací zařízení se nejčastěji upevňuje na zkušební vzorek mimo zkušební prostor lisu. Po osazení se snímací zařízení zaaretuje a vloží do zkušební lisu, kde se odjistí až těsně před provedením zkoušky.

Zkušební těleso se uloží dostředně do prostoru zkušební lisu, který začne vyvolávat základní napětí, které se plynule zvětšuje v rozmezí  $0,6 \pm 0,4$  MPa až do hodnoty  $1/3$  očekávané hodnoty pevnosti v tlaku. Napětí se pozvolna snižuje a zvyšuje na horní a základní zatěžovací napětí vždy s výdrží 60 sekund. Předběžný zatěžovací cyklus se opakuje alespoň 2x. Po ukončení posledního předběžného zatěžovacího cyklu se během následujících 30 sekund odečte hodnota posledního poměrného přetvoření. Vzorek se znovu zatíží na napětí a během 30 sekund se odečte hodnota posledního poměrné přetvoření. Po ukončení měření se snímací zařízení zaaretuje, vyjme ze zkušební lisu a poté se zatížení zvýší až do porušení vzorku. Celý průběh cyklování se graficky zaznamenává.

Statický modul pružnosti se vypočte ze vztahu:

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b}$$

$E_c$	statický modul pružnosti	[N.mm <sup>-2</sup> ]
$\sigma_a$	horní zatěžovací napětí	[N.mm <sup>-2</sup> ]
$\sigma_b$	základní zatěžovací napětí	[N.mm <sup>-2</sup> ]
$\varepsilon_a$	horní poměrné přetvoření	[-]
$\varepsilon_b$	základní poměrné přetvoření	[-] [18]

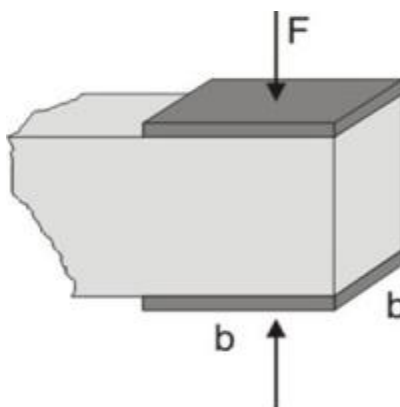
### 3.7.4.10. Pevnost v tlaku

Jednoosá tlaková zkouška byla prováděna na polovinách zlomených cihelk o rozměrech 20 x 20 mm. Cihelka byla vložena do přípravku se zatěžovacími plochami 20 x 20 mm a způsob zatěžování byl definován konstantní rychlostí posunu 0,5 mm.min<sup>-1</sup>. Při zkoušce byla zaznamenána síla v N.

Pevnost v tlaku vypočteme ze vztahu:

$$\sigma_p = \frac{F}{A}$$

$\sigma_p$	pevnost v tlaku	[N.mm <sup>-2</sup> ]
F	síla v okamžiku porušení vzorku	[N]
A	tlačná plocha pomocných destiček 20x20	[mm] [19]



Obr. 5: Zařízení pro zatěžování zlomku trámečku [19].

### 3.7.4.11. Pevnost v tahu za ohybu

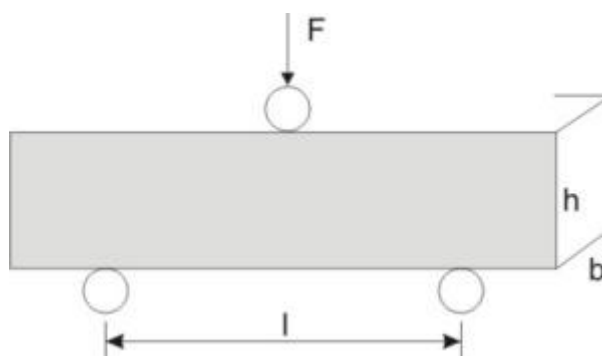
Třibodová zkouška byla provedena na cihelkách o rozměrech 20 x 50 x 100 mm. Trámeček byl umístěn do zkušebního přípravku se vzdáleností podpor 70 mm a způsob zatěžování byl definován konstantní rychlostí posunu 0,05 mm.min<sup>-1</sup>. Při zkoušce byla zaznamenána síla v N.

Pevnost v tahu za ohybu vypočteme ze vztahu:

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



$\sigma_{po}$	pevnost v tahu za ohybu	[N.mm <sup>-2</sup> ]
F	síla v okamžiku porušení vzorku	[N]
l	vzdálenost mezi podporami	[mm]
b	šířka zkušební vzorku	[mm]
h	tloušťka zkušební vzorku	[mm] [19]



Obr. 6: Zařízení pro pevnost v tahu za ohybu [19]

### 3.7.4.12. Součinitel tepelné vodivosti

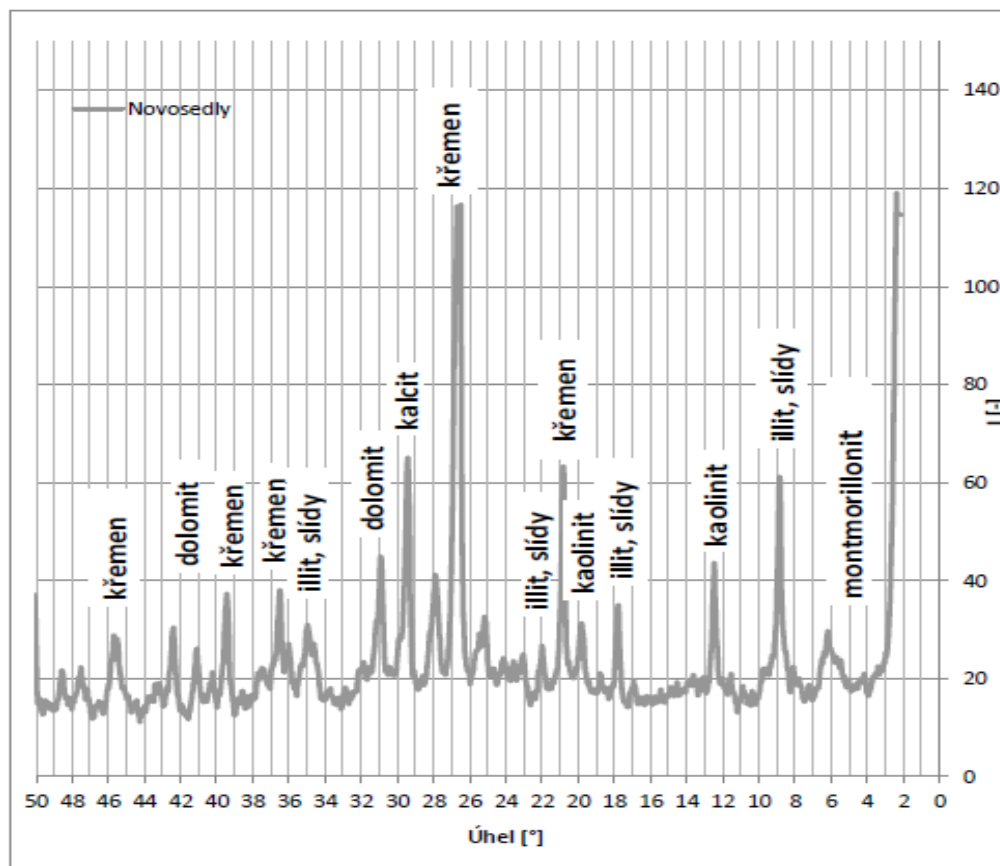
Stanovení součinitele tepelné vodivosti se provádí měřícím přístrojem, který dokáže měřit tepelně technické veličiny pro daný vzorek. Zjišťuje se tepelná vodivost materiálu  $\lambda$  [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>], objemová tepelná kapacita materiálu  $\rho c$  [J.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup>] a teplotní vodivost  $\alpha$  [m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>]. Měření vlastností jde provádět u jakéhokoliv stavebního materiálu. Pro sytké a měkké materiály a nesoudržné hmoty (zeminy, PUR pěny, minerální izolace) se použijí jehlové sondy. Pro testování tvrdých materiálů (beton, cihelné tvárnice, dřevo, polystyrenové desky) se použijí povrchové typy sond. Tloušťka testovaného vzorku musí být minimálně 20–40 mm a závisí na tepelné vodivosti zkoumaného materiálu. Princip měření je založen na analýze průběhu časové závislosti teplotní odezvy na impulsy tepelného toku ze sondy do materiálu. Tepelný tok vzniká rozptýleným elektrickým výkonem v odporu sondy. Povrch sondy musí být tepelně vodivě spojen s měřeným materiálem a teplota odporu je snímána polovodičovým snímačem. V rámci výzkumu byl použit měřící přístroj ISOMET 2114, který po provedeném měření ihned ukáže výsledný součinitel tepelné vodivosti [20].

## 4. Praktická část

### 4.1. Vstupní suroviny

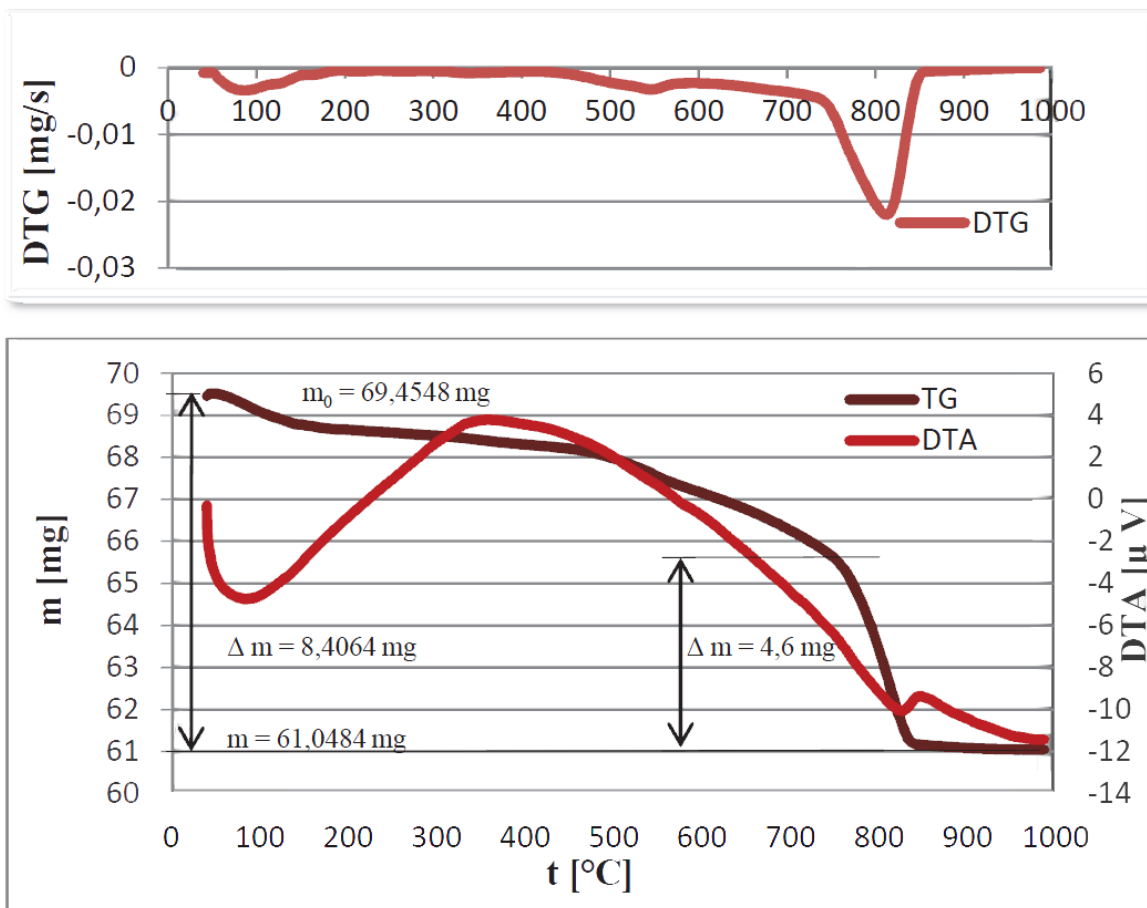
#### 4.1.1. Cihlářská zemina

Pro tento výzkum byla použita cihlářská zemina z cihelny Novosedly, která patří pod koncern Wienerberger cihlářský průmysl a.s.



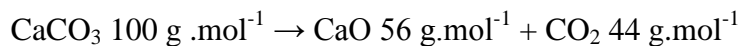
Obr. 7: RTG difrakční analýza zeminy Novosedly [21].

Z RTG difrakční analýzy je patrné zastoupení jednotlivých minerálů, které jsou napsány u svých charakteristických piků. Můžeme tedy konstatovat že v použité zemině se nachází illit, křemen, kaolinit, dolomit a montmorillonit.



Obr. 8: DTA, DTG TG zeminy Novosedly [21].

Z uvedeného grafu TG, DTG a DTA lze vyčíst chování zeminy během výpalu. V počáteční fázi došlo k dehydrataci, která končí při teplotě 180 °C. V rozmezí teplot 480–600 °C dochází k dehydroxylaci jílových minerálů. Při teplotách 750–850 °C je patrná dekarbonatace vápence, která je způsobená uvolněním CO<sub>2</sub>, ze které lze vypočítat množství vápence v zemině. Celková ztráta žiháním je 12,1 %.



$$m_{\text{CaCO}_3} = \frac{\Delta m}{44} \cdot 100 = \frac{4,6}{44} \cdot 100 = 10,5 \text{ g}$$

Dle výpočtu je patrné, že v zemině Novosedly je obsah vápence asi 15,1 %.

### 4.1.2. Čedičová vlákna firmy Basaltex

Vlákna se vyznačují velkým tepelným rozsahem použitelnosti, jsou nehořlavá a mají minimální nasákavost. Odolávají většině alkálií, působení vody, organickým i anorganickým kyselinám a organickým rozpouštědlům. Vyznačují se nízkou tepelnou vodivostí a vysokým koeficientem zvukové pohltivosti. Dobrá je i odolnost vůči UV zářením a proti plísním a jiným mikroorganismům.

Nekonečná čedičová vlákna se skládají ze svazku nekonečně dlouhých fibril, která vznikají rozvlákňováním taveniny anorganického minerálu čediče – bazaltu. Vyznačují se vysokou pevností a ohebností.

Ekologická zátěž tohoto materiálu je minimální, jelikož se jedná o 100 % recyklovatelný materiál a jeho výroba je méně energeticky náročná, než výroba skleněných vláken. Jedná se o přírodní materiál, který se zpracovává bez dalších přísad a v přírodě se nachází velké množství čediče – bazaltu vhodného ke zvlákňování.

	Hodnota	Jednotka
Průměr fibril	9.12	μm
Základní jemnost nitě	80, 160, ...,2500,...	tex
Průměrná pevnost	0,512	N/tex
Obsah lubrikace	1,0 - 1,5	%
Obsah spalitelných látek	0,69	%
Obsah vlhkosti	0,061	%

Tab. 3: Technické vlastnosti čedičových vláken Basaltex.

Složka	Čedičové vlákno (% hmot.)
SiO <sub>2</sub>	9.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,2
CaO	8,6
MgO	5,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<5
Na <sub>2</sub> O	<5
K <sub>2</sub> O, TiO <sub>2</sub>	<1
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CoO, NiO	<0,1

Tab. 4: Chemické složení čedičových vláken Basaltex.

Hustota při 20°C	kg/m <sup>3</sup>	2900
Navlhavost	%	0,5
Modul pružnosti v tahu	Mpa	100 000
Pevnost v tahu	MPa	1850 - 2150
Pevnost v tlaku	MPa	300
Pracovní teplota	°C	-200 až +700
Měrná tepelná vodivost	W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	0,027 až 0,033
Specifický odpor	Ω.m	1012

Tab. 5: Fyzikální a mechanické vlastnosti čedičových vláken Basaltex.



Obr. 9: Čedičová vlákna Basaltex.

#### 4.1.3. Keramická vlákna firmy Basaltex

Keramická vlákna se používají pro výrobu nejrůznějších materiálů vzhledem k jejich žáruvzdornosti. Jejich klasifikační teplota je v rozmezí 1200–1425 °C, tato teplota se odvíjí dle chemického složení. Pro tuto vlastnost jsou výrobky z keramických vláken používány k izolaci kotlů, potrubí, turbín, reaktorů, pecí a tavicích van.

Jejich předností jsou výborné tepelně-izolační vlastnosti, vysoká tepelná stabilita, dobrá absorpce zvuku, odolnost proti teplotním šokům, nízká tepelná absorpce, nízký obsah pojiv, tvarová stálost, vysoká chemická stabilita a odolnost vůči většině chemikálií. Vlastnosti keramických vláken zůstávají zachované i po výpalu.

Komerční využití těchto vláken je:

- izolace ucpávkové
- filtrace horkých plynů

- izolace plošné
- výroba kompozitů
- izolace nástřikové
- výroba keramických hmot
- výroba desek, rohoží, kartónů, plstí atd.

Max. teplota při používání	°C	1260
Průměrná tloušťka vláken	μm	6
Průměrná délka vlákna	mm	5.15
Objemový obsah granálií	%	<2
Vlhkost při expedici hmotnostní	%	<1
Objemová hmotnost	kg/m <sup>3</sup>	200

Tab. 6: Technické vlastnosti keramických vláken Basaltex.

% hmotnosti	Granulovaná keramická vata <b>IZOWAT 12G</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	44
<b>SiO<sub>2</sub></b>	53,7
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,2
<b>CaO</b>	0,22
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,6
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,66
<b>SrO</b>	0,01
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	0,57

Tab. 7: Chemické složení keramických vláken Basaltex.



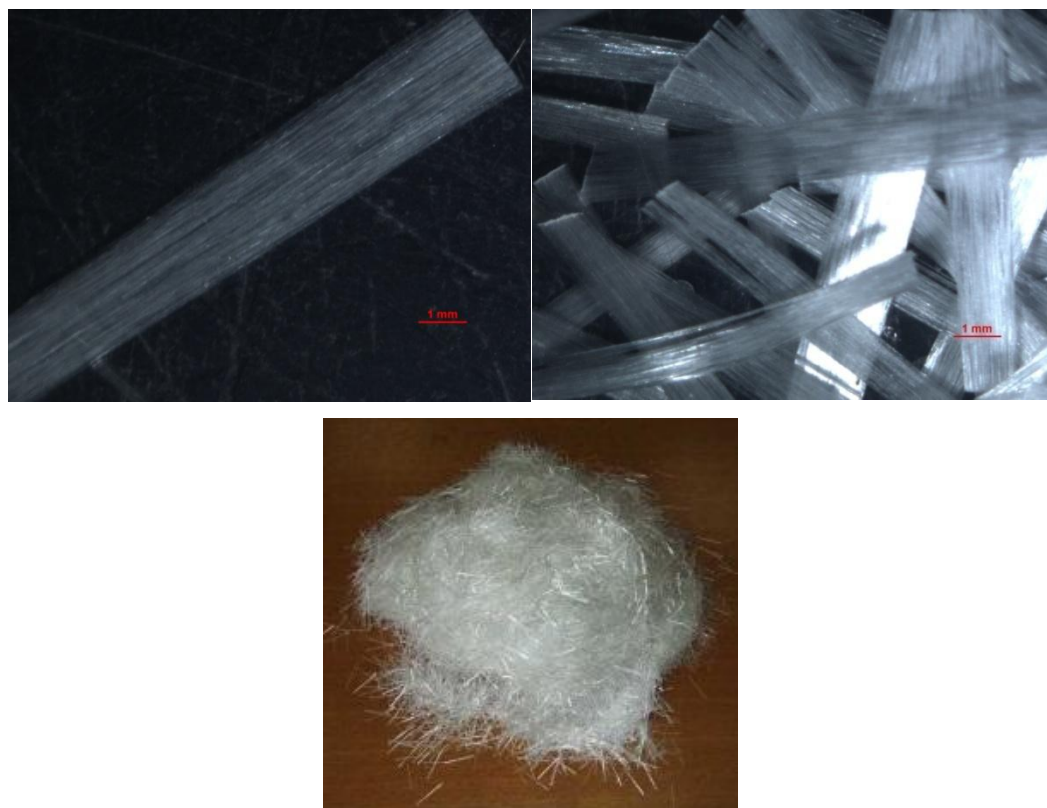
Obr. 10: Keramická vlákna Basaltex ve formě granulí.

#### 4.1.4. Skleněná vlákna ANTI - CRAK HP

Anti-Crak® HP (High Performance) jsou sekané prameny z alkalivzdorných skleněných vláken určené pro vyztužování betonu, potěrů, stěrek, samonivelačních a reprofilačních hmot, omítek a malt. Prameny vláken mají optimalizovanou speciální povrchovou úpravu zaručující odolnost pramene proti abrazi a současně integritu pramene během míchání betonové směsi. Integrované prameny vláken mají nízkou délkovou hmotnost a proto je jejich výztužný efekt vysoký i při nízkých váhových dávkách ve srovnání s ocelovou výztuží.

Max. teplota při používání	°C	860
Průměrná tloušťka vláken	μm	14
Průměrná délka vlákna	mm	6 a 12 a 18
Pevnost v tahu	Mpa	1700
Vlhkost při expedici hmotnostní	%	<0,3
Objemová hmotnost	kg/m <sup>3</sup>	2680
Modul pružnosti	GPa	72

Tab. 8: Technické vlastnosti skleněných vláken.



Obr. 11: Skleněná vlákna Anti - Crack HP.

#### 4.1.5. Odpadní čedičová vlákna Isover

Minerální vlna vzniká tavbou především bazických hornin v kupolových pecích. Vzniklá tavenina, která vzniká při teplotě 1400–1580 °C je následně rozvlákněna a nasycena pojivem na bázi močovino-fenolformaldehydové pryskyřice. Ze směsi vláken a pojiva se poté vytvoří tzv. sekundární koberec, který je stlačen tzv. nakrepován, aby se docílilo požadovaných mechanických vlastností. Dalším krokem ve výrobě minerální vlny je vytvrzení pojiva (polykondenzace), formátování a případně povrchová úprava. Při formátování vzniká největší množství odpadu, které bylo použito pro tento výzkum.

Tyto odřezky z výroby je ovšem nutné před použitím rozvláknit, aby bylo možné jejich přimíchání do směsi. Pro použití jako příměs je potřeba odstranit organické pojivo, které se dá odstranit při teplotě 600 °C a poté je možné jednotlivé vlákna od sebe oddělit.

Objemová hmotnost	kg/m <sup>3</sup>	25 - 200
Bod tání	°C	1000
Pevnost v tlaku	MPa	0,4
Měrná tepelná vodivost	W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	0,033 - 0,045

Tab. 9: Technické vlastnosti čedičových vláken.



Obr. 12: Odpadní čedičová vlákna ISOVER.



#### 4.1.6. Odpadní kord z pneumatik

Pneumatikový kord je v podstatě tkanina, která se skládá z osnovy nití s vysokou pevností a hustotou 5–15 ks/cm a z velmi řídkého útku 5–15 ks/10 cm. Jednotlivé vrstvy se překřížují a střídají se vrstvy textilního kordu a ocelového kordu. Textilní vlákna jsou z modifikované viskózy, aramidu, nebo polyesteru. Ocelové vlákna mají průměr 0,5–5 mm. Drcený kord, který byl použit pro výzkum obsahoval ocelová vlákna, tkaninu i kusy kaučuku.



*Obr. 13: Odpadní kord z pneumatik.*

#### 4.2. Tvorba zkušebních těles

Nejprve byla pomleta suchá zemina v kolovém mlýnu, z důvodů velkých kusů zeminy a pro její lepší zpracování na plastické těsto. Jednotlivé suroviny se nadávkovaly do kolového mlýnu (zemina, vlákna a voda) v určitém poměru dle receptury. Vzniklé plastické těsto bylo ještě pomleté ve válcovém mlýnu. Následně bylo plastické těsto uloženo k odležení v nepropustných igelitových sáčcích.

Tvorba zkušebních těles byla provedena metodou ručního stloukání do kovové formy (100 x 50 x 20 mm). Po vytvoření byly vzorky uloženy a ponechány v laboratorním prostředí na vzduchu. Po vysušení na vzduchu byly vzorky umístěny do sušárny a vysušeny do konstantní hmotnosti při teplotě 110 °C. Vysušené vzorky byly vypáleny v laboratorní peci na maximální teplotu 800 °C.

##### **Označení vzorků**

První číslice značí dávku vláken: 1 - 0,5 % až 7 - 2 %, druhé písmeno značí druh vláken: K - keramika, C - čedič, S - sklo, OK - odpadní kord, OC - odpadní čedič.

Při použití stejného typu vláken různých délek je v označení vzorku třetí číslo 6 nebo 12, což značí délku vláken 6 a 12 mm. Každá sada obsahuje 3 vzorky se stejným obsahem vláken, které značí čísla na konci v označení 1; 2; 3.



Obr. 14: Forma na výrobu cihlek 100x50x20 mm.

## 5. Výsledky

Referenční vzorky byly namíchány pro porovnání a určení vlivu jednotlivých vláken. Jednotlivé sady vzorků se liší pouze v obsahu a druhu vláken. Sady s obsahem keramických, skleněných a čedičových vláken byly namíchány v dávkách 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2 %.

Označení vzorku	Zkoušky plastického těsta		Zkoušky na vysušených vzorcích		
	Plastičnost dle Pfefferkorna	Skutečná vlhkost těsta	Délková změna sušením	Kritická vlhkost těsta	Citlivost k sušení dle Bigota
	d [-]	w <sub>r</sub> [%]	DS [%]	w <sub>k</sub> [%]	CSB [-]
REF1	0,63	24,68	5,69	16,68	0,48
REF2		25,34	5,61	17,87	0,42
REF3		25,16	5,58	17,52	0,44

Tab. 10: Referenční sada vzorků - Zkoušky plastického těsta a vysušků.

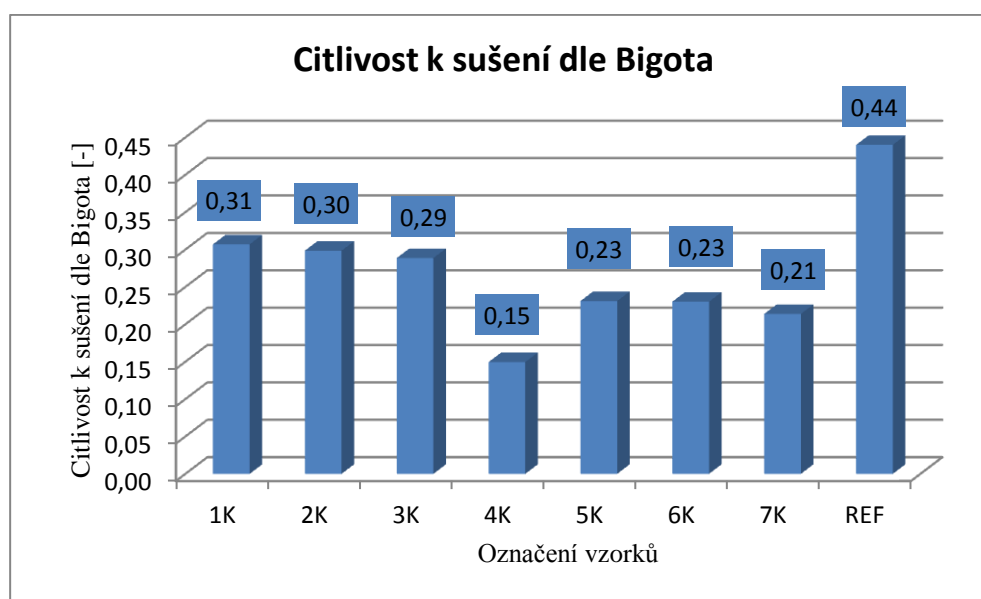
Označení vzorku	Zkoušky na vypáleném střepu										
	Délková změna výpalem	Celková délková změna	Ztráta hmotnosti pálením	Pevnost v tahu za ohybu		Statický modul pružnosti	Pevnost v tlaku				
	DP [%]	DC [%]	ZP [%]	$\sigma_{po}$ [N.mm <sup>-2</sup> ]		E <sub>c</sub> [N.mm <sup>-2</sup> ]	F [kN]		$\sigma_p$ [N.mm <sup>-2</sup> ]		
REF1	0,24	5,92	11,06	6,5	6,4	45,2	8,2	9,1	20,5	22,8	22,5
REF2	0,28	5,87	11,45	6,7			8,5	8,2	21,3	20,5	
REF3	0,25	5,82	12,01	6,0			10,4	9,6	26,0	24,0	

Tab. 11: Referenční sada vzorků - Zkoušky na vypáleném střepu.

## Sady vzorků s keramickými vlákny

Označení vzorku	Zkoušky plastického těsta		Zkoušky na vysušených vzorcích		
	Plastičnost dle Pfefferkorna	Skutečná vlhkost těsta	Délková změna sušením	Kritická vlhkost těsta	Citlivost k sušení dle Bigota
	d [-]	w <sub>r</sub> [%]	DS [%]	w <sub>k</sub> [%]	CSB [-]
1K1	0,55	25,00	5,15	18,99	0,32
1K2		24,77	5,24	19,12	0,30
1K3		25,20	4,90	19,25	0,31
2K1	0,60	23,62	4,28	18,30	0,29
2K2		24,14	4,17	18,57	0,30
2K3		24,36	4,29	18,67	0,30
3K1	0,63	23,13	4,10	17,96	0,29
3K2		23,49	3,43	18,36	0,28
3K3		23,09	4,02	17,79	0,30
4K1	0,60	23,67	4,64	20,48	0,16
4K2		23,41	3,82	20,40	0,15
4K3		23,50	3,93	20,51	0,15
5K1	0,63	24,88	4,08	20,27	0,23
5K2		23,51	3,42	19,20	0,22
5K3		23,24	3,70	18,71	0,24
6K1	0,63	22,45	3,35	18,49	0,21
6K2		23,09	3,32	18,52	0,25
6K3		23,22	3,38	18,88	0,23
7K1	0,63	23,06	4,10	18,97	0,22
7K2		22,94	4,16	18,85	0,22
7K3		22,88	4,22	18,92	0,21

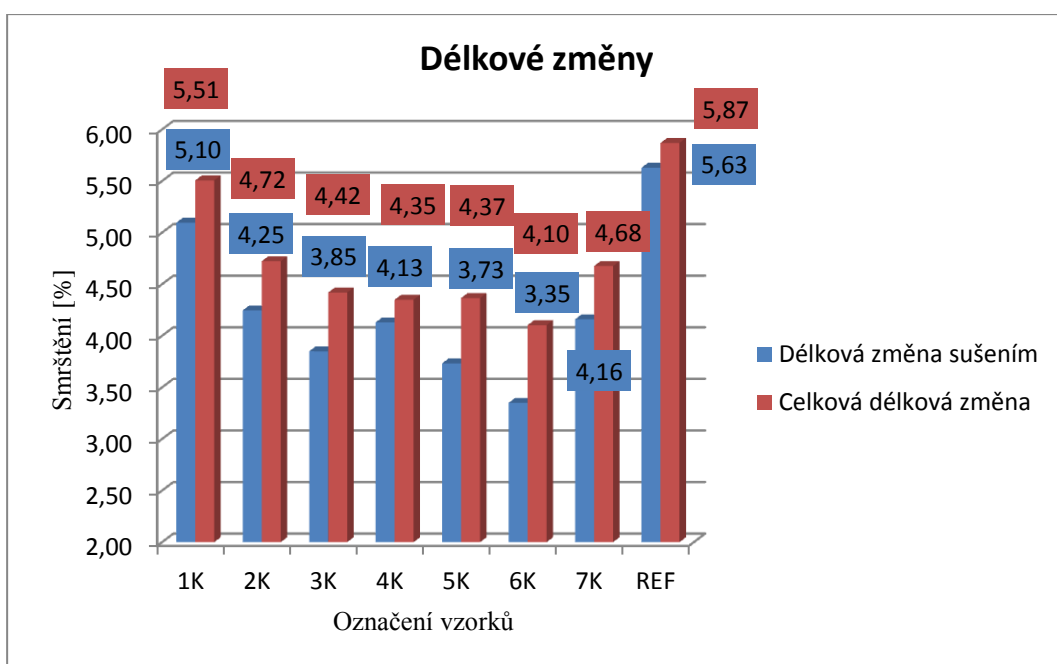
Tab. 12: Vzorky s keramickými vlákny - Zkoušky plastického těsta a výsušku.



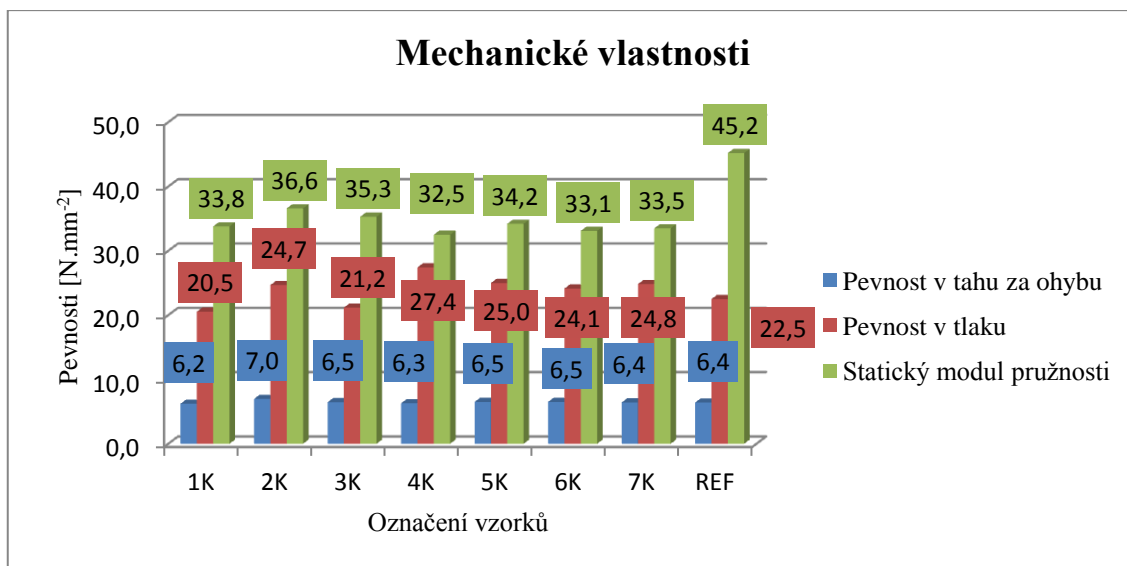
Graf. 3: Vzorky s keramickými vlákny - Citlivost k sušení dle Bigota.

Označení vzorku	Zkoušky na vypáleném střepu										
	Délková změna výpalem	Celková délková změna	Ztráta hmotnosti pálením	Pevnost v tahu za ohybu		Statický modul pružnosti	Pevnost v tlaku				
	DP [%]	DC [%]	ZP [%]	$\sigma_{po}$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	$E_c$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	F [kN]		$\sigma_p$ [N.mm <sup>-2</sup> ]			
1K1	0,42	5,55	10,56	5,2	6,2	33,8	8,5	8,4	21,3	21,0	20,5
1K2	0,45	5,67	10,70	7,0			8,0	8,1	20,0	20,3	
1K3	0,42	5,30	10,74	6,5			8,1	8,2	20,3	20,5	
2K1	0,46	4,72	10,80	7,1	7,0	40,4	8,8	10,2	22,0	25,5	24,7
2K2	0,55	4,70	10,33	6,5			8,7	11,0	21,8	27,5	
2K3	0,48	4,75	10,38	7,3			10,7	9,8	26,8	24,5	
3K1	0,60	4,68	10,11	6,8	6,5	41,4	8,8	8,2	22,0	20,5	21,2
3K2	0,59	4,00	10,71	5,3			7,0	7,6	17,5	19,0	
3K3	0,58	4,58	10,74	7,4			9,6	9,6	24,0	24,0	
4K1	0,20	4,83	10,70	5,9	6,3	29,0	8,1	8,6	20,3	21,5	27,4
4K2	0,26	4,07	10,27	6,1			9,3	12,2	23,3	30,5	
4K3	0,23	4,15	10,22	6,8			11,0	16,6	27,5	41,5	
5K1	0,68	4,73	10,36	5,5	6,5	28,1	7,4	10,7	18,5	26,8	25,0
5K2	0,65	4,05	10,34	6,5			7,6	8,8	19,0	22,0	
5K3	0,64	4,32	10,52	7,6			15,0	10,5	37,5	26,3	
6K1	0,74	4,07	10,95	7,5	6,5	37,9	9,6	10,0	24,0	25,0	24,1
6K2	0,79	4,08	10,41	6,4			12,1	7,4	30,3	18,5	
6K3	0,81	4,16	10,02	5,7			8,2	10,6	20,5	26,5	
7K1	0,53	4,61	10,20	5,6	6,4	38,1	8,2	7,2	20,5	18,0	24,8
7K2	0,56	4,70	10,38	7,5			10,2	13,7	25,5	34,3	
7K3	0,52	4,72	10,35	6,1			9,5	10,8	23,8	27,0	

Tab. 13: Vzorky s keramickými vlákny - Zkoušky na vypáleném střepu.



Graf. 4: Vzorky s keramickými vlákny - Délkové změny.

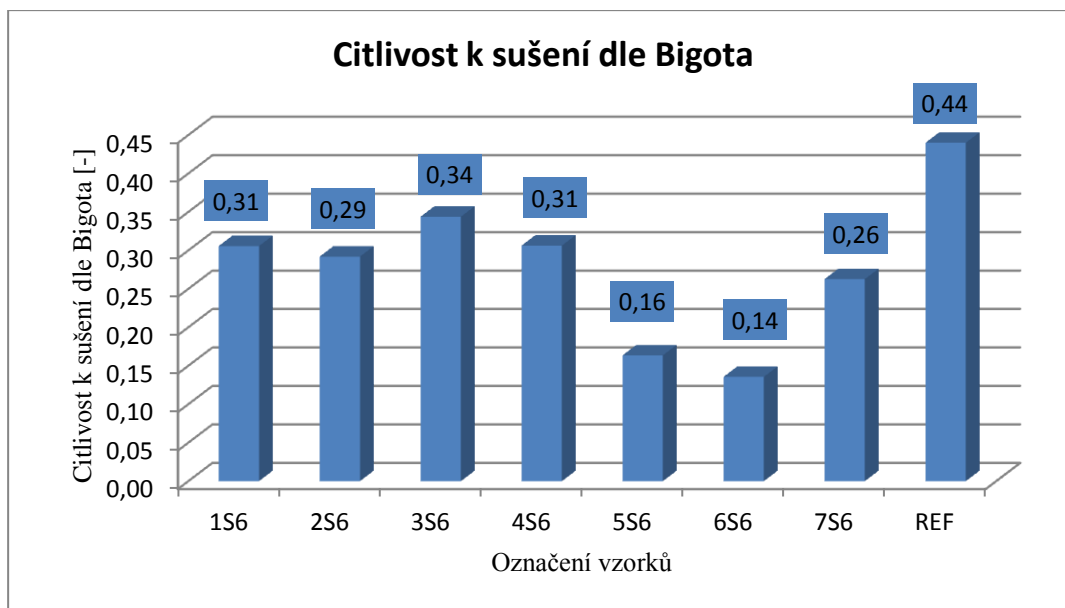


Graf. 5: Vzorky s keramickými vlákny - Pevnost v tlaku a tahu za ohybu a pružnost.

#### Sady vzorků se skleněnými vlákny délky 6 mm

Označení vzorku	Zkoušky plastického těsta		Zkoušky na vysušených vzorcích		
	Plastičnost dle Pfefferkorna	Skutečná vlhkost těsta	Délková změna sušením	Kritická vlhkost těsta	Citlivost k sušení dle Bigota
	d [-]	w <sub>r</sub> [%]	DS [%]	w <sub>k</sub> [%]	CSB [-]
1S61	0,65	23,62	4,43	18,03	0,31
1S62		23,44	4,38	18,09	0,30
1S63		24,06	4,30	18,35	0,31
2S61	0,63	24,05	4,15	18,45	0,30
2S62		24,25	4,04	18,88	0,28
2S63		24,18	4,24	18,78	0,29
3S61	0,63	24,20	4,35	17,98	0,35
3S62		24,76	4,44	18,45	0,34
3S63		24,56	4,48	18,28	0,34
4S61	0,60	24,13	4,21	18,37	0,31
4S62		24,68	4,26	18,93	0,30
4S63		24,83	3,79	19,08	0,30
5S61	0,63	24,79	3,91	21,58	0,15
5S62		24,90	4,15	21,51	0,16
5S63		24,87	4,04	21,00	0,18
6S61	0,63	24,10	3,68	21,10	0,14
6S62		24,70	3,87	21,60	0,14
6S63		24,54	3,80	21,89	0,12
7S61	0,63	24,86	3,41	19,38	0,28
7S62		24,77	3,14	20,05	0,24
7S63		25,06	3,40	19,73	0,27

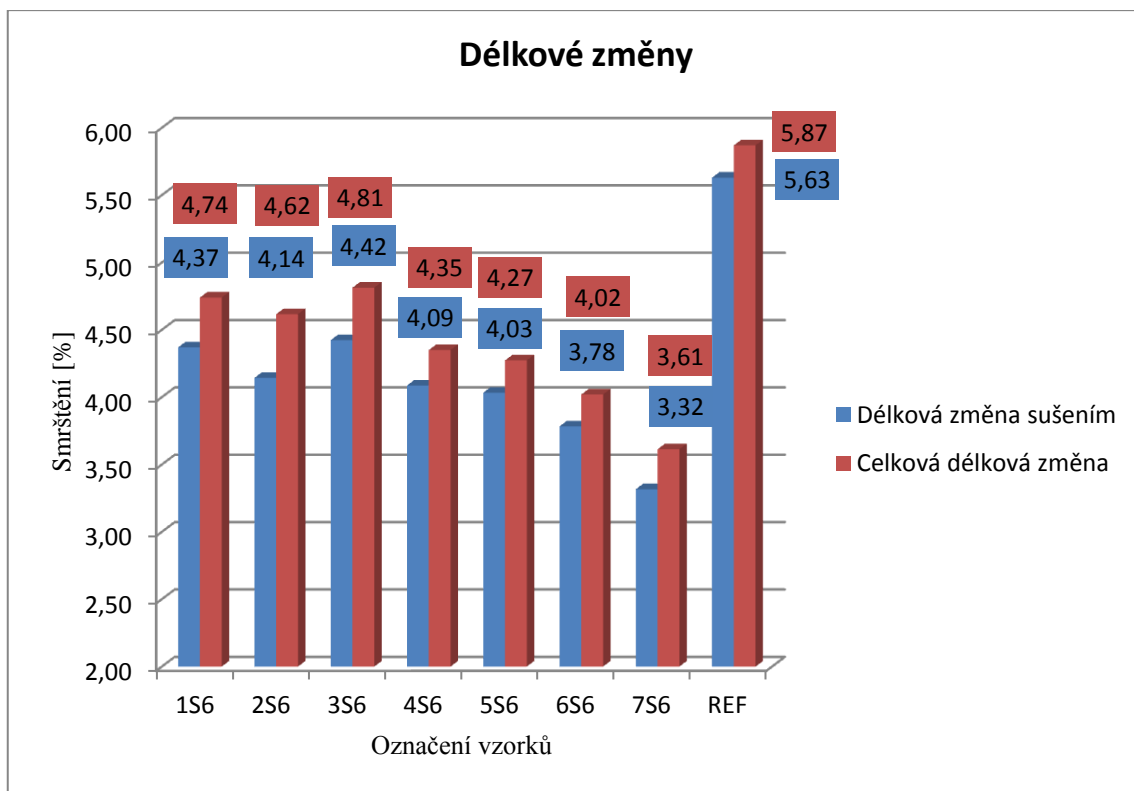
Tab. 14: Vzorky se skleněnými vlákny 6 mm - Zkoušky plastického těsta a výsušku.



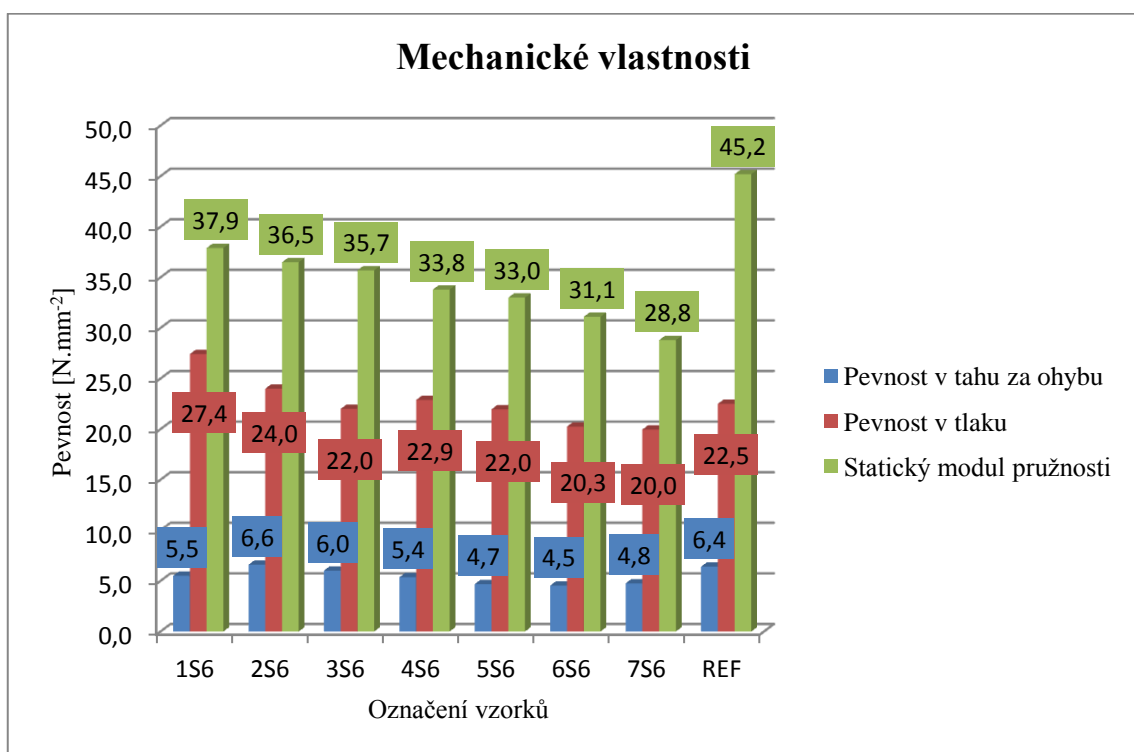
Graf. 6: Vzorky se skleněnými vlákny 6 mm - Citlivost k sušení dle Bigota.

Označení vzorku	Zkoušky na vypáleném střepu										
	Délková změna výpalem	Celková délková změna	Ztráta hmotnosti pálením	Pevnost v tahu za ohybu		Statický modul pružnosti	Pevnost v tlaku				
	DP [%]	DC [%]	ZP [%]	$\sigma_{po}$ [N.mm <sup>-2</sup> ]		$E_c$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	F [kN]		$\sigma_p$ [N.mm <sup>-2</sup> ]		
1S61	0,41	4,82	11,10	6,3	5,5	37,9	13,0	15,4	32,5	38,5	27,4
1S62	0,36	4,72	11,45	5,1			9,2	8,6	23,0	21,5	
1S63	0,40	4,68	11,22	5,1			10,0	9,6	25,0	24,0	
2S61	0,50	4,63	11,52	8,2	6,6	36,5	11,6	7,8	29,0	19,5	24,0
2S62	0,50	4,52	11,16	5,3			8,8	10,0	22,0	25,0	
2S63	0,48	4,70	11,24	6,4			8,8	10,6	22,0	26,5	
3S61	0,40	4,73	10,91	5,5	6,0	35,7	6,2	6,7	15,5	16,8	22,0
3S62	0,41	4,83	10,73	6,6			14,2	7,0	35,5	17,5	
3S63	0,42	4,88	10,50	6,0			9,6	9,1	24,0	22,8	
4S61	0,28	4,48	10,53	5,7	5,4	33,8	9,2	9,0	23,0	22,5	22,9
4S62	0,25	4,50	10,50	4,7			7,8	8,6	19,5	21,5	
4S63	0,29	4,07	10,92	5,7			10,3	10,0	25,8	25,0	
5S61	0,24	4,14	11,23	6,1	4,7	33,0	12,3	7,8	30,8	19,5	22,0
5S62	0,24	4,38	11,17	3,9			9,0	7,3	22,5	18,3	
5S63	0,27	4,30	11,16	4,1			9,3	7,0	23,3	17,5	
6S61	0,24	3,91	10,73	5,2	4,5	31,1	13,0	8,6	32,5	21,5	20,3
6S62	0,24	4,10	10,63	3,9			8,1	6,8	20,3	17,0	
6S63	0,26	4,05	10,35	4,5			5,9	6,2	14,8	15,5	
7S61	0,34	3,74	10,34	5,0	4,8	28,8	12,5	8,2	31,3	20,5	20,0
7S62	0,31	3,44	11,04	5,0			6,7	6,1	16,8	15,3	
7S63	0,27	3,66	10,47	4,3			6,3	8,1	15,8	20,3	

Tab. 15: Vzorky se skleněnými vlákny 6 mm - Zkoušky na vypáleném střepu.



Graf. 7: Vzorky se skleněnými vlákny 6 mm - Délkové změny.

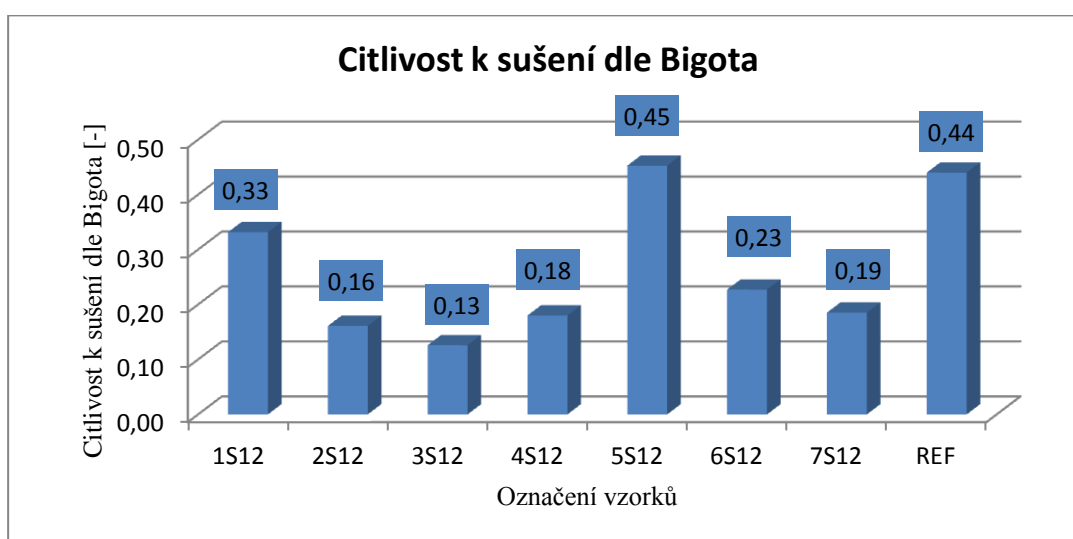


Graf. 8: Vzorky se skleněnými vlákny 6 mm - Pevnost v tahu za ohybu a pružnost.

## Sady vzorků se skleněnými vlákny délky 12 mm

Označení vzorku	Zkoušky plastického těsta		Zkoušky na vysušených vzorcích		
	Plastičnost dle Pfefferkorna	Skutečná vlhkost těsta	Délková změna sušením	Kritická vlhkost těsta	Citlivost k sušení dle Bigota
	d [-]	w <sub>r</sub> [%]	DS [%]	w <sub>k</sub> [%]	CSB [-]
1S121	0,65	24,09	4,33	18,15	0,33
1S122		24,87	4,59	18,86	0,32
1S123		24,81	4,61	18,39	0,35
2S121	0,63	25,63	4,04	22,25	0,15
2S122		25,52	4,11	22,06	0,16
2S123		25,68	3,99	21,86	0,17
3S121	0,65	25,62	3,69	22,90	0,12
3S122		25,47	4,48	22,86	0,11
3S123		25,51	4,26	22,29	0,14
4S121	0,58	25,93	4,50	21,58	0,20
4S122		26,17	3,53	22,61	0,16
4S123		25,45	4,22	21,55	0,18
5S121	0,60	25,72	3,75	17,12	0,50
5S122		25,62	3,82	17,97	0,43
5S123		25,16	3,92	17,60	0,43
6S121	0,65	25,60	3,65	20,83	0,23
6S122		25,12	3,28	20,62	0,22
6S123		25,21	4,19	20,42	0,23
7S121	0,58	24,72	3,05	20,84	0,19
7S122		24,92	2,96	20,85	0,20
7S123		24,15	2,88	20,57	0,17

Tab. 16: Vzorky se skleněnými vlákny 12 mm - Zkoušky plastického těsta a výsušků.

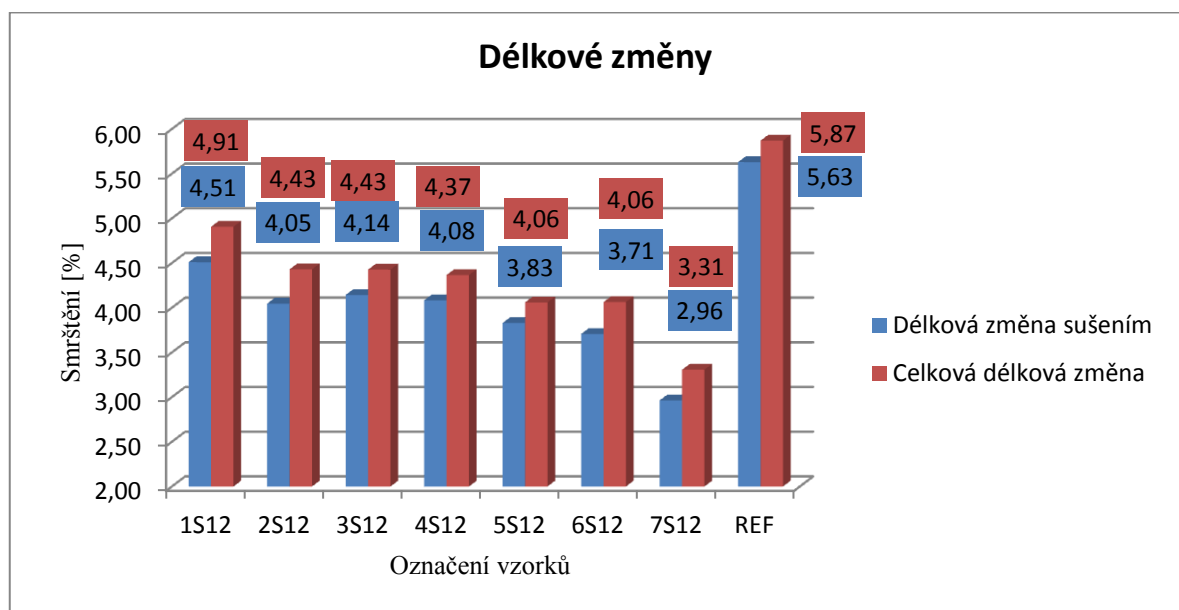


Graf. 9: Vzorky se skleněnými vlákny 12 mm - Citlivost k sušení dle Bigota.

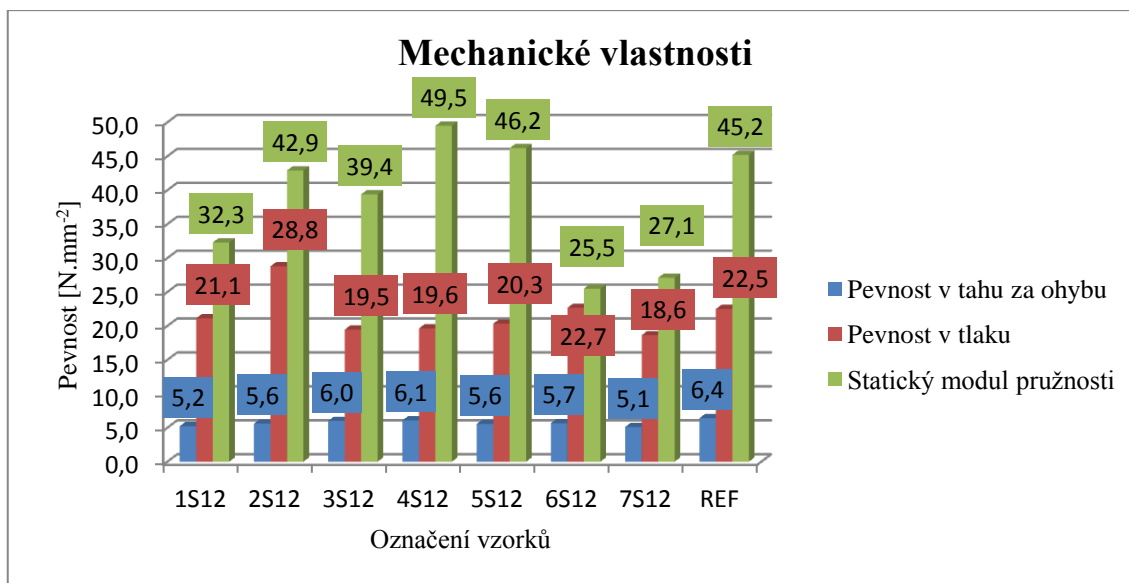


Označení vzorku	Zkoušky na vypáleném střepu										
	Délková změna výpalem	Celková délková změna	Ztráta hmotnosti pálením	Pevnost v tahu za ohybu		Statický modul pružnosti	Pevnost v tlaku				
	DP [%]	DC [%]	ZP [%]	$\sigma_{po}$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	$E_c$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	F [kN]		$\sigma_p$ [N.mm <sup>-2</sup> ]			
1S121	0,42	4,73	10,71	5,1	5,2	32,3	7,3	7,6	18,3	19,0	21,1
1S122	0,40	4,97	10,40	5,4			13,6	8,4	34,0	21,0	
1S123	0,43	5,02	10,60	5,2			7,5	6,3	18,8	15,8	
2S121	0,42	4,44	10,46	5,1	5,6	42,9	7,4	7,0	18,5	17,5	18,8
2S122	0,41	4,50	10,73	5,5			7,6	6,9	19,0	17,3	
2S123	0,37	4,35	10,56	6,3			6,4	9,8	16,0	24,5	
3S121	0,27	3,95	10,65	4,7	6,0	39,4	7,2	6,2	18,0	15,5	19,5
3S122	0,32	4,79	10,14	6,7			9,7	5,6	24,3	14,0	
3S123	0,29	4,54	10,22	6,6			9,0	9,0	22,5	22,5	
4S121	0,27	4,76	10,55	4,8	6,1	49,5	5,2	6,8	13,0	17,0	19,6
4S122	0,32	3,84	10,51	4,0			7,5	6,8	18,8	17,0	
4S123	0,29	4,50	10,57	7,4			11,0	9,8	27,5	24,5	
5S121	0,24	3,98	10,65	5,3	5,6	46,2	8,4	7,9	21,0	19,8	20,3
5S122	0,21	4,02	10,36	5,0			6,0	7,8	15,0	19,5	
5S123	0,27	4,18	10,91	6,4			8,4	10,3	21,0	25,8	
6S121	0,40	4,04	10,30	5,4	5,7	25,5	6,0	6,0	15,0	15,0	22,7
6S122	0,31	3,58	10,66	5,0			11,2	6,8	28,0	17,0	
6S123	0,40	4,57	10,12	6,6			13,4	11,0	33,5	27,5	
7S121	0,35	3,39	10,65	3,5	5,1	27,1	5,6	5,0	14,0	12,5	18,6
7S122	0,32	3,27	10,98	4,8			5,4	7,6	13,5	19,0	
7S123	0,39	3,26	10,93	7,1			8,8	12,3	22,0	30,8	

Tab. 17: Vzorky se skleněnými vlákny 12 mm - Zkoušky na vypáleném střepu.



Graf. 10: Vzorky se skleněnými vlákny 12 mm - Délkové změny.

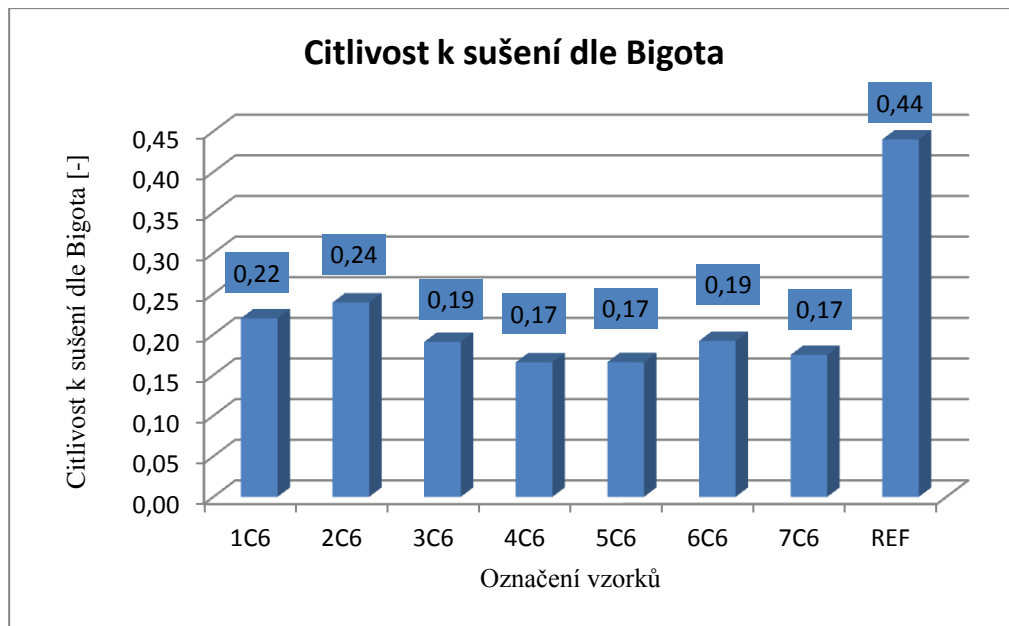


Graf. 11: Vzorky se skleněnými vlákny 12 mm - Pevnost v tlaku a tahu za ohybu a pružnost.

#### Sady vzorků s čedičovými vlákny délky 6 mm

Označení vzorku	Zkoušky plastického těsta		Zkoušky na vysušených vzorcích		
	Plastičnost dle Pfefferkorna	Skutečná vlhkost těsta	Délková změna sušením	Kritická vlhkost těsta	Citlivost k sušení dle Bigota
	d [-]	w <sub>r</sub> [%]	DS [%]	w <sub>k</sub> [%]	CSB [-]
1C61	0,65	22,68	4,46	18,25	0,24
1C62		22,57	4,54	18,95	0,19
1C63		22,61	4,24	18,44	0,23
2C61	0,55	25,56	4,35	20,38	0,25
2C62		25,01	4,30	20,50	0,22
2C63		25,37	4,24	20,40	0,24
3C61	0,60	25,28	3,21	21,35	0,18
3C62		25,27	3,07	21,28	0,19
3C63		25,97	3,46	21,63	0,20
4C61	0,60	24,71	2,30	21,16	0,17
4C62		24,59	3,16	21,29	0,16
4C63		24,94	3,04	21,25	0,17
5C61	0,63	25,89	3,95	21,85	0,18
5C62		25,89	3,90	22,29	0,16
5C63		25,92	3,88	22,52	0,15
6C61	0,60	24,14	3,68	20,04	0,20
6C62		24,75	3,44	20,76	0,19
6C63		24,74	3,64	20,98	0,18
7C61	0,60	27,09	2,92	23,56	0,15
7C62		27,66	2,82	23,40	0,18
7C63		27,73	3,45	23,25	0,19

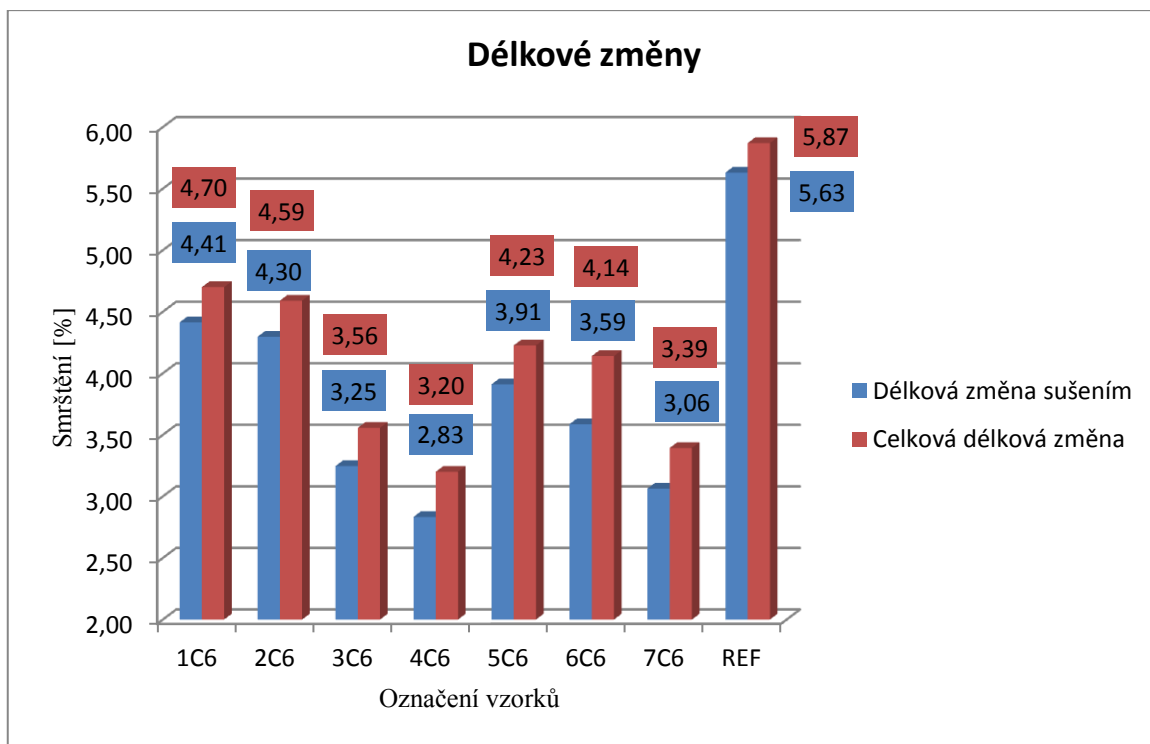
Tab. 18: Vzorky s čedičovými vlákny 6 mm - Zkoušky plastického těsta a výsušků.



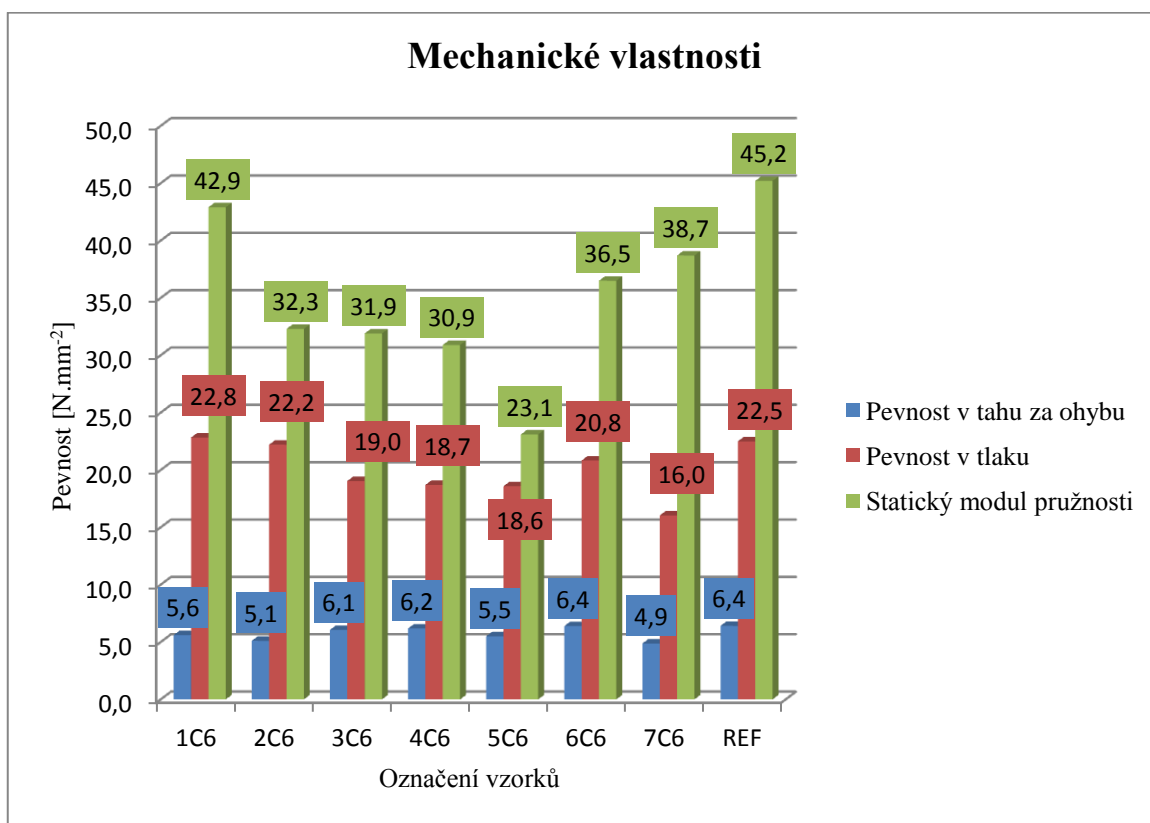
Graf. 12: Vzorky s čedičovými vlákny 6 mm - Citlivost k sušení dle Bigota.

Označení vzorku	Zkoušky na vypáleném střepu										
	Délková změna výpalem	Celková délková změna	Ztráta hmotnosti pálením	Pevnost v tahu za ohybu	Statický modul pružnosti	Pevnost v tlaku					
	DP [%]	DC [%]	ZP [%]	$\sigma_{po}$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	$E_c$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	F [kN]		$\sigma_p$ [N.mm <sup>-2</sup> ]			
1C61	0,28	4,73	10,22	6,8	5,6	42,9	9,2	10,8	23,0	27,0	22,8
1C62	0,31	4,84	10,18	4,3			7,8	6,8	19,5	17,0	
1C63	0,30	4,53	10,30	5,7			9,8	10,4	24,5	26,0	
2C61	0,31	4,65	10,63	4,6	5,1	32,3	7,0	7,5	17,5	18,8	22,2
2C62	0,29	4,58	10,25	5,8			7,6	9,4	19,0	23,5	
2C63	0,31	4,54	10,09	4,9			12,0	9,8	30,0	24,5	
3C61	0,35	3,55	11,12	6,2	6,1	31,9	7,9	7,5	19,8	18,8	19,0
3C62	0,32	3,38	11,10	6,9			6,8	11,2	17,0	28,0	
3C63	0,29	3,74	10,86	5,1			6,3	6,0	15,8	15,0	
4C61	0,39	2,68	11,50	6,1	6,2	30,9	5,6	6,3	14,0	15,8	18,8
4C62	0,40	3,55	10,79	6,7			10,1	8,1	25,3	20,3	
4C63	0,34	3,37	10,66	5,8			7,9	7,0	19,8	17,5	
5C61	0,33	4,27	10,19	5,6	5,5	23,1	7,7	5,6	19,3	14,0	18,6
5C62	0,32	4,21	10,78	4,9			6,2	6,6	15,5	16,5	
5C63	0,33	4,20	10,29	5,9			9,8	8,7	24,5	21,8	
6C61	0,53	4,19	10,24	6,8	6,4	36,5	7,7	6,8	19,3	17,0	20,8
6C62	0,56	3,98	10,71	5,7			8,2	8,9	20,5	22,3	
6C63	0,63	4,25	10,67	6,7			10,7	7,7	26,8	19,3	
7C61	0,30	3,21	9,39	4,1	4,9	38,7	6,2	4,2	15,5	10,5	16,0
7C62	0,41	3,22	9,59	5,4			11,3	4,4	28,3	11,0	
7C63	0,31	3,75	9,10	5,1			5,8	6,6	14,5	16,5	

Tab. 19: Vzorky s čedičovými vlákny 6 mm - Zkoušky na vypáleném střepu.



Graf. 13: Vzorky s čedičovými vlákny 6 mm - Délkové změny.

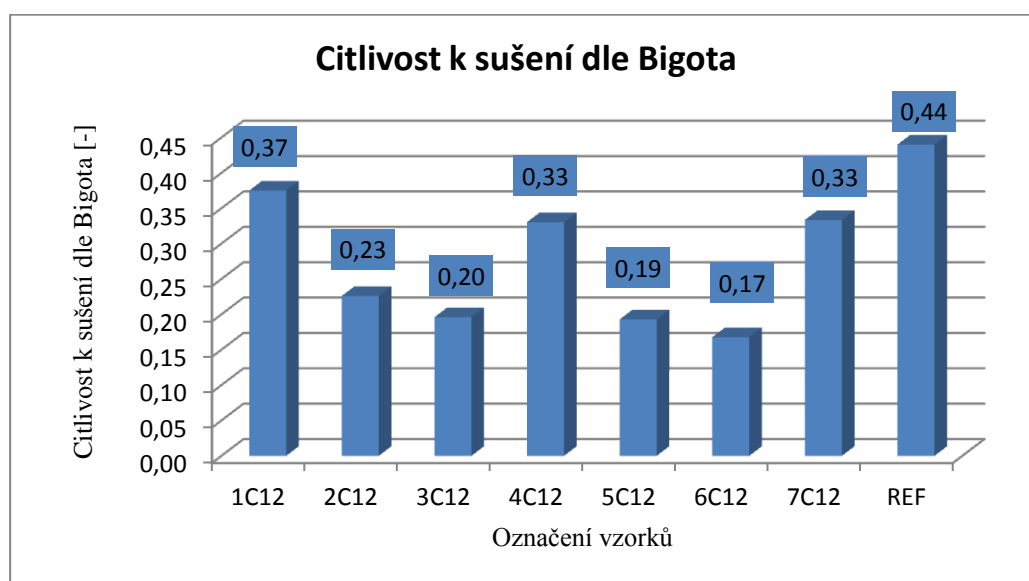


Graf. 14: Vzorky s čedičovými vlákny 6 mm - Pevnost v tlaku a tahu za ohybu a pružnost.

## Sady vzorků s čedičovými vlákny délky 12 mm

Označení vzorku	Zkoušky plastického těsta		Zkoušky na vysušených vzorcích		
	Plastičnost dle Pfefferkorna	Skutečná vlhkost těsta	Délková změna sušením	Kritická vlhkost těsta	Citlivost k sušení dle Bigota
	d [-]	w <sub>r</sub> [%]	DS [%]	w <sub>k</sub> [%]	CSB [-]
1C121	0,63	23,32	4,17	16,70	0,40
1C122		23,28	4,48	17,00	0,37
1C123		23,65	4,41	17,40	0,36
2C121	0,63	22,94	4,28	18,89	0,21
2C122		22,12	3,71	18,08	0,22
2C123		22,99	4,01	18,54	0,24
3C121	0,65	22,28	4,22	18,71	0,19
3C122		23,32	4,40	19,55	0,19
3C123		23,58	4,13	19,58	0,20
4C121	0,60	24,34	3,61	18,49	0,32
4C122		23,35	3,32	17,45	0,34
4C123		24,60	3,25	18,42	0,34
5C121	0,63	23,34	2,98	19,87	0,18
5C122		23,27	2,89	19,51	0,19
5C123		23,51	3,08	19,42	0,21
6C121	0,63	22,71	2,78	19,53	0,16
6C122		22,78	2,92	19,40	0,17
6C123		22,86	3,62	19,60	0,17
7C121	0,60	23,40	3,14	17,71	0,32
7C122		23,68	3,28	17,84	0,33
7C123		23,64	3,07	17,48	0,35

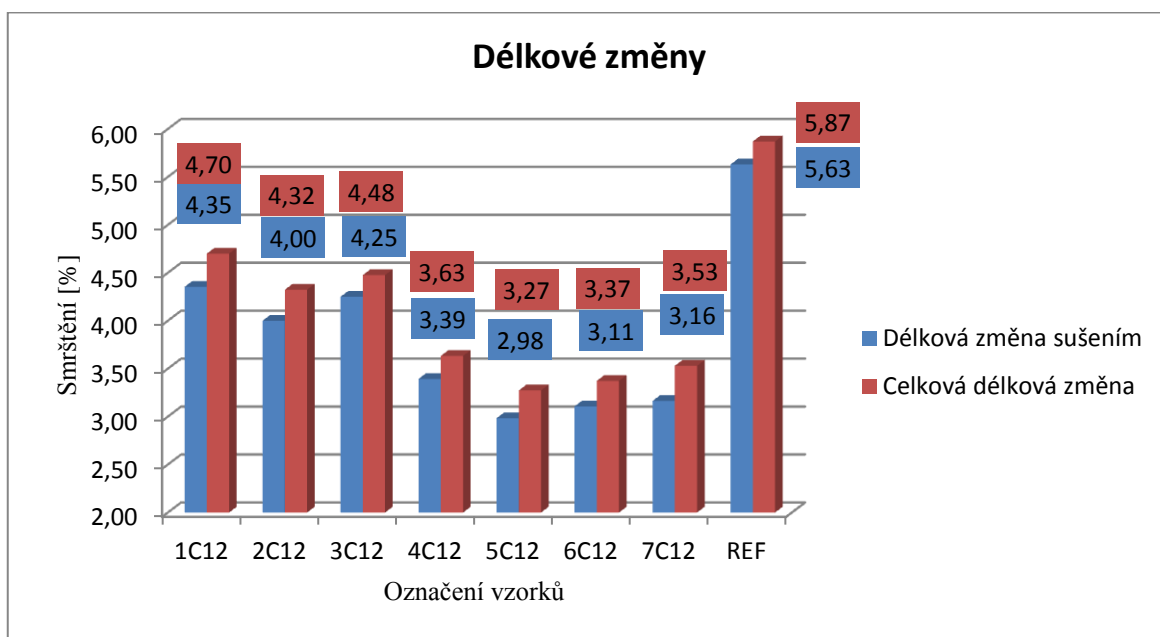
Tab. 20: Vzorky s čedičovými vlákny 12 mm - Zkoušky plastického těsta a výsušky.



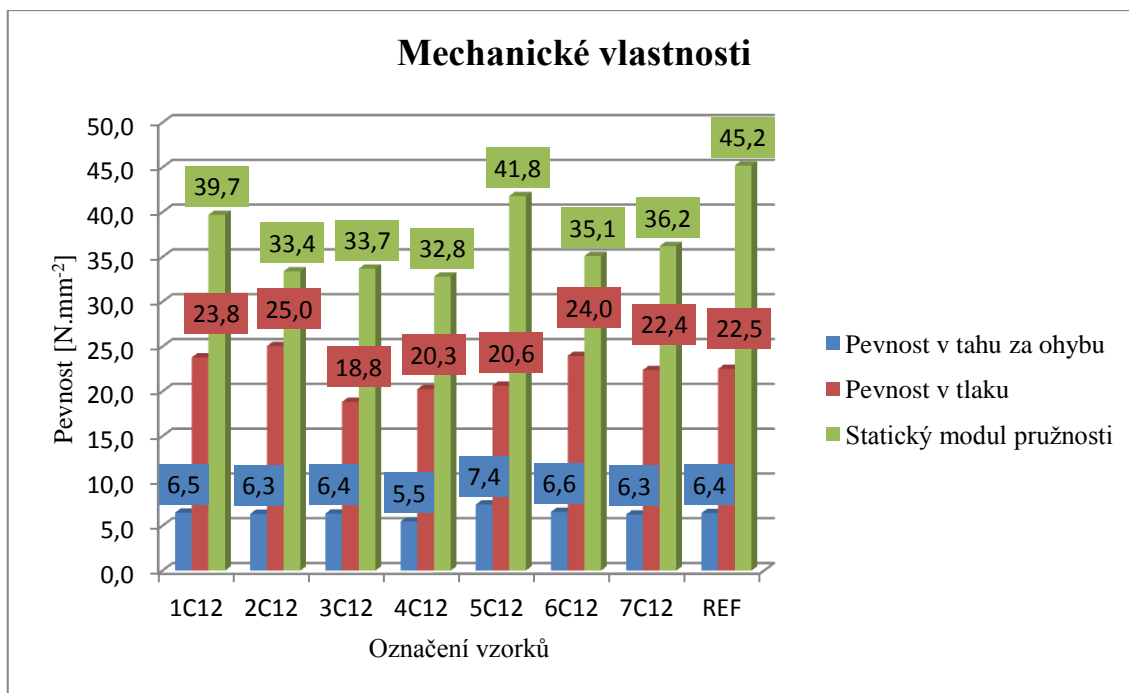
Graf. 15: Vzorky s čedičovými vlákny 12 mm - Citlivost k sušení dle Bigota.

Označení vzorku	Zkoušky na vypáleném střepu										
	Délková změna výpalem	Celková délková změna	Ztráta hmotnosti pálením	Pevnost v tahu za ohybu		Statický modul pružnosti	Pevnost v tlaku				
	DP [%]	DC [%]	ZP [%]	$\sigma_{po}$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	$E_c$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	F [kN]		$\sigma_p$ [N.mm <sup>-2</sup> ]			
1C121	0,35	4,51	10,17	5,8	6,5	39,7	8,1	10,4	20,3	26,0	23,8
1C122	0,36	4,82	10,54	6,7			9,4	7,3	23,5	18,3	
1C123	0,38	4,77	10,73	6,8			12,6	9,3	31,5	23,3	
2C121	0,31	4,58	10,83	7,7	6,3	33,4	14,2	10,0	35,5	25,0	25,0
2C122	0,35	4,05	10,53	5,4			8,2	9,9	20,5	24,8	
2C123	0,34	4,34	10,44	5,8			10,7	7,1	26,8	17,8	
3C121	0,24	4,45	10,76	5,1	6,4	33,7	6,8	7,1	17,0	17,8	18,8
3C122	0,22	4,61	11,09	7,5			8,1	6,8	20,3	17,0	
3C123	0,25	4,37	10,98	6,5			6,9	9,5	17,3	23,8	
4C121	0,25	3,85	10,60	6,6	5,9	32,8	6,8	7,8	17,0	19,5	20,3
4C122	0,26	3,57	10,39	5,6			12,3	8,8	30,8	22,0	
4C123	0,24	3,48	10,03	5,4			6,6	6,3	16,5	15,8	
5C121	0,29	3,26	10,05	6,0	7,4	41,8	6,6	7,2	16,5	18,0	20,6
5C122	0,30	3,18	10,17	8,2			11,2	8,3	28,0	20,8	
5C123	0,31	3,38	10,08	8,0			8,7	7,5	21,8	18,8	
6C121	0,27	3,04	10,60	6,9	6,5	35,1	9,6	9,5	24,0	23,8	24,0
6C122	0,27	3,18	10,38	6,0			11,6	10,3	29,0	25,8	
6C123	0,29	3,90	10,24	6,8			8,1	8,4	20,3	21,0	
7C121	0,35	3,48	10,51	6,2	6,3	36,2	10,6	7,4	26,5	18,5	22,4
7C122	0,39	3,66	10,64	6,4			8,9	9,0	22,3	22,5	
7C123	0,39	3,45	10,68	6,2			9,0	8,8	22,5	22,0	

Tab. 21: Vzorky s čedičovými vlákny 12 mm - Zkoušky na vypáleném střepu.



Graf. 16: Vzorky s čedičovými vlákny 12 mm - Délkové změny.



Graf. 17: Vzorky s čedičovými vlákny 12 mm - Pevnost v tlaku a tahu za ohybu a pružnost.

### Sady vzorků s odpadními čedičovými vlákny a s odpadním kordem z pneumatik

Odpadní čedič byl dávkován v množství 1; 1,25; 1,5 a 1,75 %

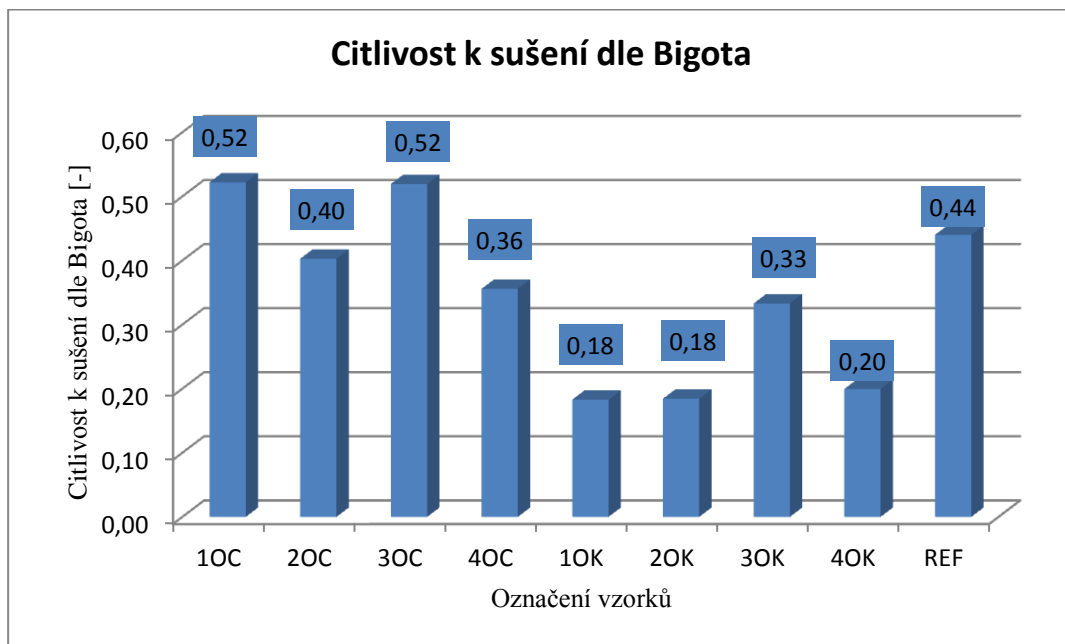
Označení vzorku	Zkoušky plastického těsta		Zkoušky na vysušených vzorcích		
	Plastičnost dle Pfefferkorna	Skutečná vlhkost těsta	Délková změna sušením	Kritická vlhkost těsta	Citlivost k sušení dle Bigota
	d [-]	w <sub>r</sub> [%]	DS [%]	w <sub>k</sub> [%]	CSB [-]
10C1	0,65	22,44	4,56	14,52	0,55
10C2		21,58	4,34	14,30	0,51
10C3		21,41	4,39	14,16	0,51
20C1	0,63	22,61	4,63	16,33	0,38
20C2		22,69	4,65	16,03	0,42
20C3		22,64	4,31	16,09	0,41
30C1	0,63	22,33	4,70	14,84	0,50
30C2		22,36	4,80	14,80	0,51
30C3		22,49	4,97	14,58	0,54
40C1	0,65	21,69	4,29	15,87	0,37
40C2		21,47	4,35	15,89	0,35
40C3		21,73	4,43	16,10	0,35

Tab. 22: Vzorky s odpadními čedičovými vlákny - Zkoušky plastického těsta a výsušky.

Odpadní kord byl dávkován v množství 0,75; 1; 1,25; 1,5 %

Označení vzorku	Zkoušky plastického těsta		Zkoušky na vysušených vzorcích		
	Plastičnost dle Pfefferkorna	Skutečná vlhkost těsta	Délková změna sušením	Kritická vlhkost těsta	Citlivost k sušení dle Bigota
	d [-]	w <sub>r</sub> [%]	DS [%]	w <sub>k</sub> [%]	CSB [-]
1OK1	0,65	23,28	4,45	19,73	0,18
1OK2		23,45	4,39	19,87	0,18
1OK3		23,77	4,60	20,01	0,19
2OK1	0,65	21,04	4,21	17,79	0,18
2OK2		21,28	4,60	18,06	0,18
2OK3		21,23	4,10	17,80	0,19
3OK1	0,65	22,77	4,51	16,97	0,34
3OK2		22,57	4,28	16,91	0,33
3OK3		22,83	4,30	17,26	0,32
4OK1	0,65	21,97	4,09	18,27	0,20
4OK2		22,15	4,28	18,42	0,20
4OK3		21,94	4,10	18,38	0,19

Tab. 23: Vzorky s odpadními kordem z pneumatik - Zkoušky plastického těsta a výsušku.



Graf. 18: Vzorky s odpadními čedičovými vlákny a odpadním kordem z pneumatik - Citlivost k sušení dle Bigota.

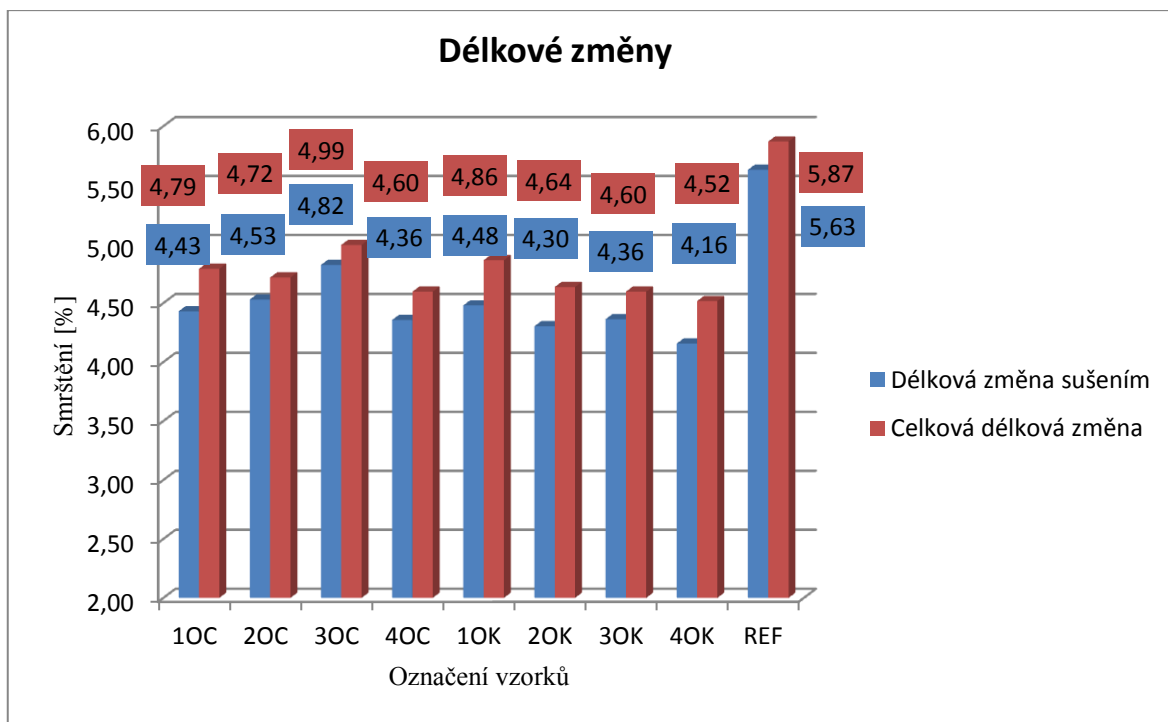


Označení vzorku	Zkoušky na vypáleném střepu										
	Délková změna výpalem	Celková délková změna	Ztráta hmotnosti pálením	Pevnost v tahu za ohybu		Statický modul pružnosti	Pevnost v tlaku				
	DP [%]	DC [%]	ZP [%]	$\sigma_{po}$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	$E_c$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	F [kN]		$\sigma_p$ [N.mm <sup>-2</sup> ]			
1OC1	0,40	4,94	11,44	9,7	8,9	42,9	13,4	10,9	33,5	27,3	29,9
1OC2	0,36	4,68	11,73	8,3			11,0	12,0	27,5	30,0	
1OC3	0,38	4,75	11,84	8,6			12,6	11,8	31,5	29,5	
2OC1	0,18	4,80	11,37	7,7	7,9	40,7	11,9	9,0	29,8	22,5	26,1
2OC2	0,21	4,85	11,48	9,0			11,8	11,8	29,5	29,5	
2OC3	0,20	4,50	11,72	7,1			7,4	10,8	18,5	27,0	
3OC1	0,17	4,86	11,74	9,9	9,0	38,5	11,0	13,2	27,5	33,0	28,8
3OC2	0,18	4,97	11,43	8,8			10,2	13,0	25,5	32,5	
3OC3	0,19	5,15	11,36	8,4			10,8	10,8	27,0	27,0	
4OC1	0,25	4,53	11,47	11,0	8,2	35,5	10,6	15,2	26,5	38,0	28,4
4OC2	0,25	4,59	11,61	6,7			9,1	10,8	22,8	27,0	
4OC3	0,25	4,67	11,28	6,9			11,3	11,2	28,3	28,0	

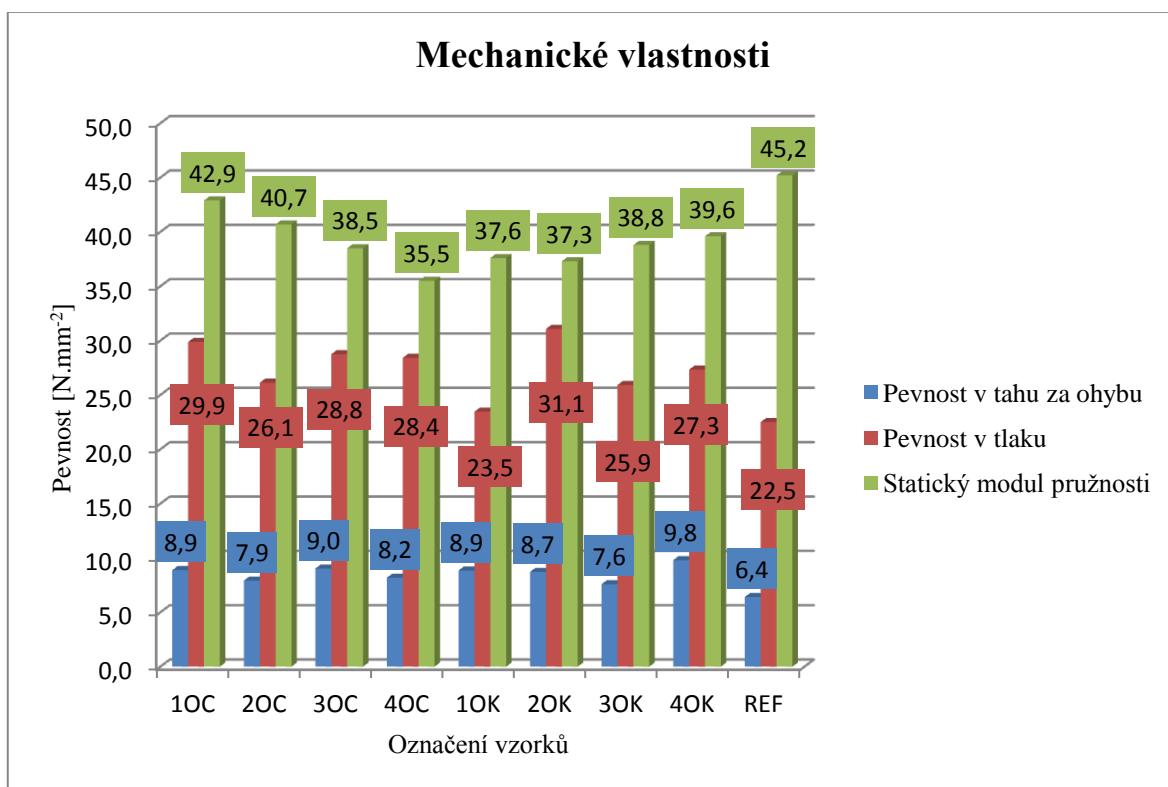
Tab. 24: Vzorky s odpadními čedičovými vlákny - Zkoušky na vypáleném střepu.

Označení vzorku	Zkoušky na vypáleném střepu										
	Délková změna výpalem	Celková délková změna	Ztráta hmotnosti pálením	Pevnost v tahu za ohybu		Statický modul pružnosti	Pevnost v tlaku				
	DP [%]	DC [%]	ZP [%]	$\sigma_{po}$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	$E_c$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	F [kN]		$\sigma_p$ [N.mm <sup>-2</sup> ]			
1OK1	0,39	4,82	12,73	8,3	8,8	37,6	8,2	10,0	20,5	25,0	23,5
1OK2	0,41	4,78	12,98	8,1			7,0	11,1	17,5	27,8	
1OK3	0,41	4,99	12,86	9,6			11,4	8,6	28,5	21,5	
2OK1	0,33	4,53	13,17	9,3	8,7	37,3	13,1	12,0	32,8	30,0	31,1
2OK2	0,34	4,92	13,81	8,3			14,7	10,4	36,8	26,0	
2OK3	0,38	4,46	13,57	8,5			13,4	11,0	33,5	27,5	
3OK1	0,23	4,73	13,66	7,9	7,6	38,8	10,6	9,2	26,5	23,0	25,9
3OK2	0,24	4,51	13,24	6,9			9,8	8,4	24,5	21,0	
3OK3	0,26	4,55	13,78	8,0			13,4	10,8	33,5	27,0	
4OK1	0,38	4,45	13,77	10,1	9,8	39,6	10,2	12,2	25,5	30,5	27,3
4OK2	0,37	4,63	13,85	11,3			10,9	11,5	27,3	28,8	
4OK3	0,39	4,47	13,26	8,0			10,4	10,4	26,0	26,0	

Tab. 25: Vzorky s odpadním kordem z pneumatik - Zkoušky na vypáleném střepu.



Graf. 19: Vzorky s odpadními čedičovými vlákny a odpadním kordem z pneumatik -  
Délkové změny.

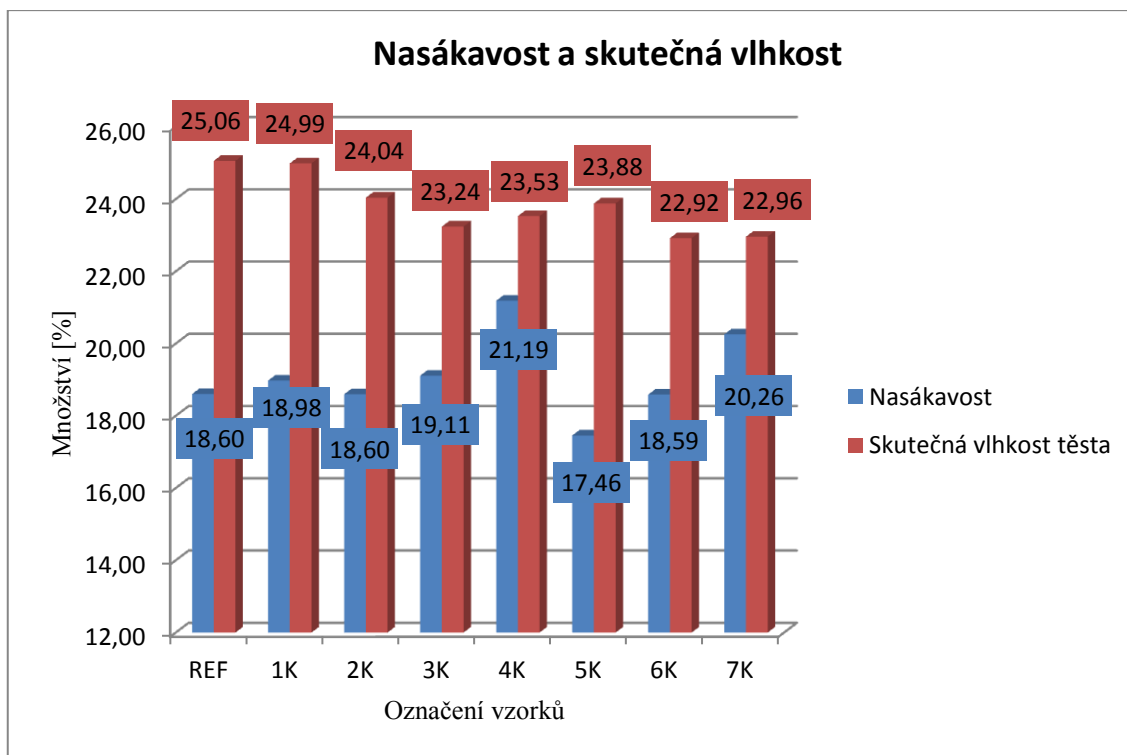


Graf. 20: Vzorky s odpadními čedičovými vlákny a odpadním kordem z pneumatik -  
Pevnost v tlaku a tahu za ohybu a statický modul pružnosti.

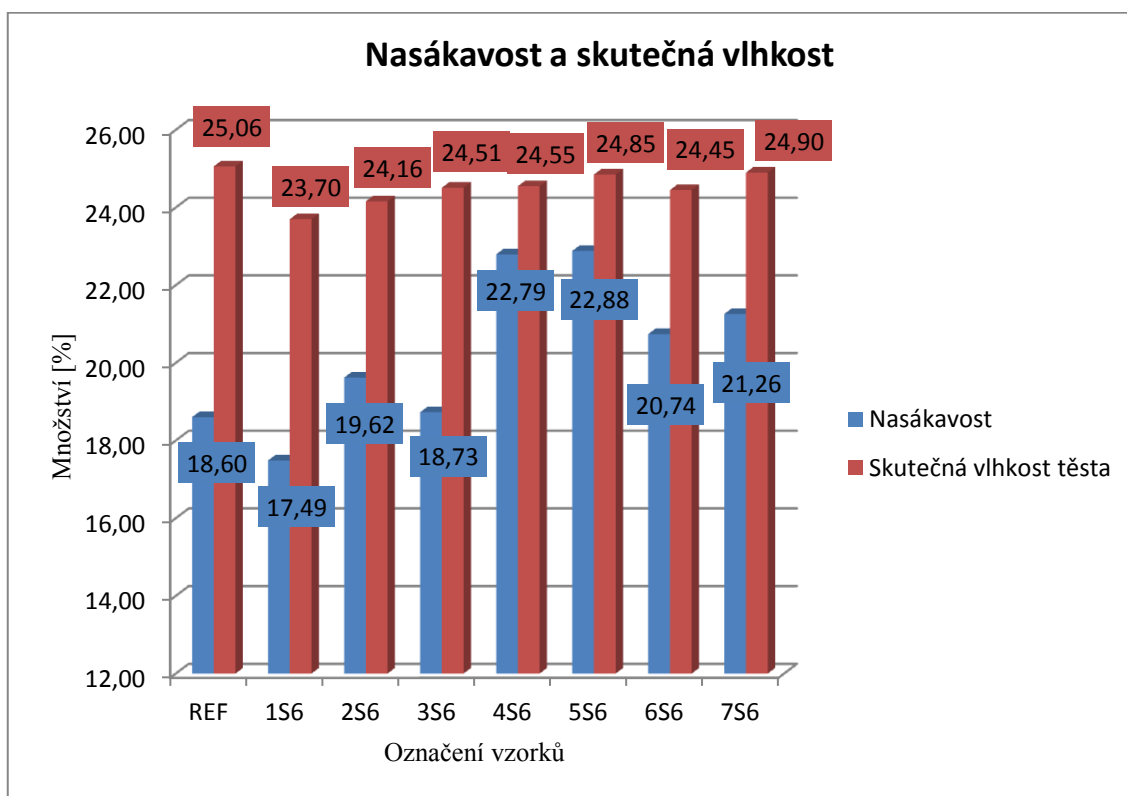
## Výsledky zkoušek

Označení vzorku	Nasákavost	Objemová hmotnost	Zdánlivá pórovitost	Zdánlivá hustota
	NV [%]	OH [kg.m <sup>-3</sup> ]	PZ [%]	ZH [kg.m <sup>-3</sup> ]
REF	18,60	1708	31,78	2504
1K	18,98	1688	32,04	2484
2K	18,60	1723	32,04	2535
3K	19,11	1724	32,95	2572
4K	21,19	1709	36,21	2679
5K	17,46	1759	30,71	2539
6K	18,59	1726	32,08	2541
7K	20,26	1701	34,46	2596
1S6	17,49	1783	31,19	2592
2S6	19,62	1741	34,16	2645
3S6	18,73	1735	32,49	2569
4S6	22,79	1670	38,07	2697
5S6	22,88	1682	38,48	2733
6S6	20,74	1741	36,11	2725
7S6	21,26	1720	36,58	2713
1S12	21,48	1700	36,53	2679
2S12	20,86	1705	35,57	2647
3S12	22,61	1690	38,22	2736
4S12	19,48	1707	33,26	2558
5S12	23,86	1631	38,93	2671
6S12	22,83	1712	39,08	2810
7S12	20,99	1690	35,48	2619
1C6	16,99	1768	30,04	2528
2C6	21,97	1709	37,55	2736
3C6	21,38	1671	35,73	2601
4C6	21,93	1673	36,68	2642
5C6	25,36	1626	41,25	2768
6C6	20,04	1682	33,72	2538
7C6	31,03	1464	45,44	2683
1C12	17,29	1732	29,96	2473
2C12	19,03	1705	32,44	2524
3C12	19,94	1709	34,08	2593
4C12	19,08	1701	32,46	2519
5C12	22,29	1671	37,26	2664
6C12	20,09	1709	34,34	2603
7C12	20,53	1687	34,63	2580
1OC	15,97	1783	28,47	2492
2OC	18,67	1739	32,47	2575
3OC	17,81	1765	31,44	2575
4OC	16,18	1781	28,80	2501
1OK	22,11	1692	37,41	2704
2OK	22,04	1707	37,62	2736
3OK	23,56	1670	39,35	2754
4OK	23,32	1675	39,07	2750

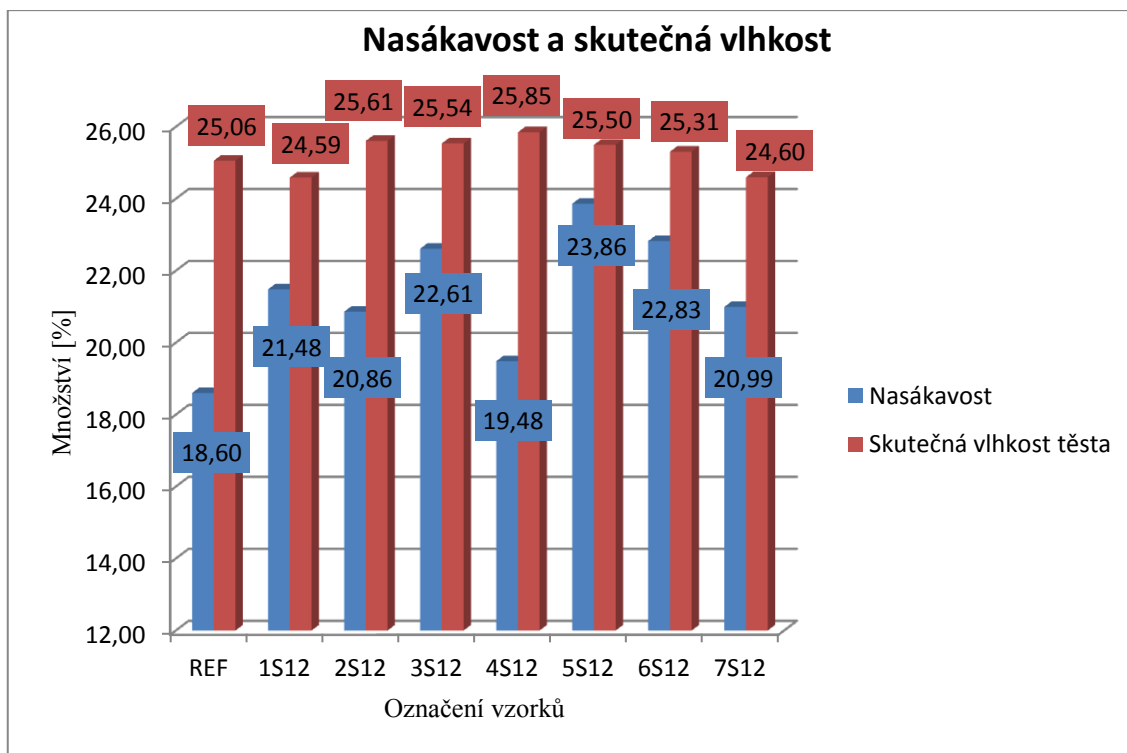
Tab. 26: Výsledky zkoušek OH, Nasákavosti, Zdánlivé pórovitosti a Zdánlivé hustoty.



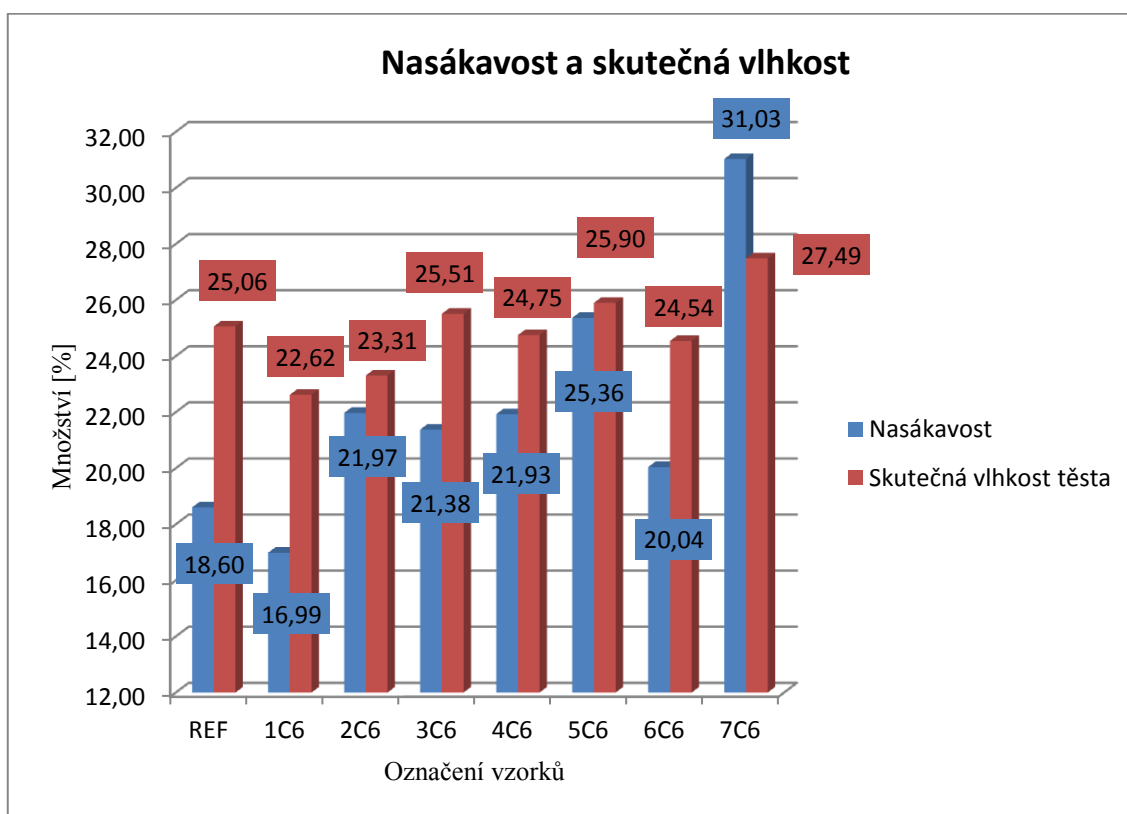
Graf. 21: Vzorky s keramickými vlákny - Nasákavost a skutečná vlhkost.



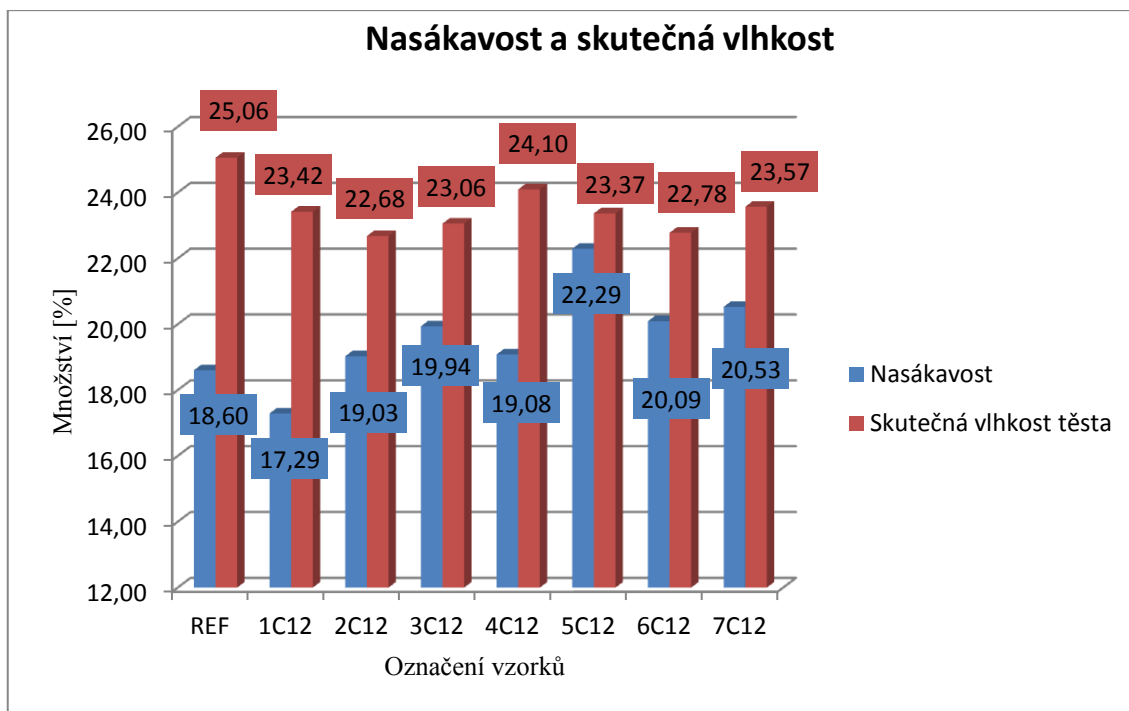
Graf. 22: Vzorky se skleněnými vlákny 6 mm - Nasákavost a skutečná vlhkost.



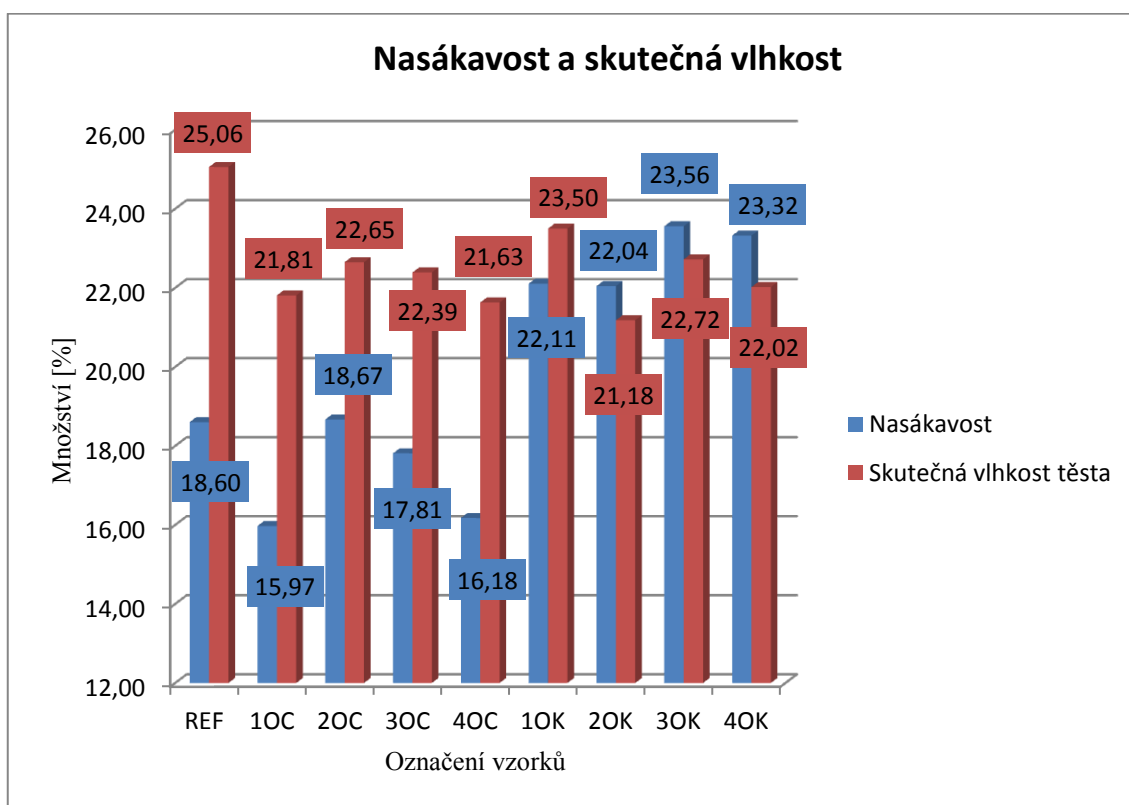
Graf. 23: Vzorky se skleněnými vlákny 12 mm - Nasákavost a skutečná vlhkost.



Graf. 24: Vzorky s čedičovými vlákny 6 mm - Nasákavost a skutečná vlhkost.



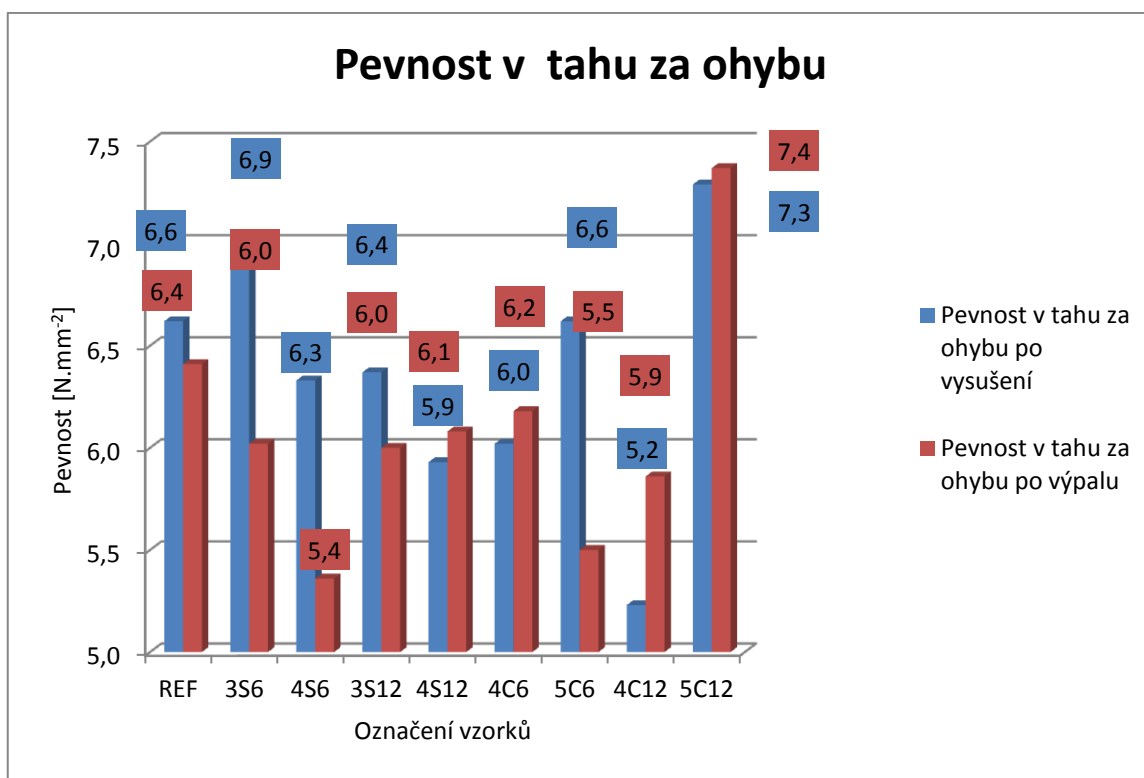
Graf. 25: Vzorky s čedičovými vlákny 12 mm - Nasákavost a skutečná vlhkost.



Graf. 26: Vzorky s odpadními čedičovými vlákny a odpadním kordem - Nasákavost a skutečná vlhkost.

Označení vzorku	Pevnost v tahu za ohybu po vysušení	Pevnost v tahu za ohybu po výpalu
	$\sigma_{po}$ [N.mm <sup>-2</sup> ]	$\sigma_{po}$ [N.mm <sup>-2</sup> ]
REF	6,6	6,4
3S6	6,9	6,0
4S6	6,3	5,4
3S12	6,4	6,0
4S12	5,9	6,1
4C6	6,0	6,2
5C6	6,6	5,5
4C12	5,2	5,9
5C12	7,3	7,4

Tab. 27: Pevnot v tahu za ohybu u vysušených a vypálených vzorků.



Graf. 27: Pevnost v tahu za ohybu.

## 6. Diskuze

### Keramická vlákna

Keramická vlákna vykazují velice pozitivní vliv na snížení citlivosti k sušení a tento trend nadále pokračuje se zvyšujícím se přídatkem vláken. Největšího snížení citlivosti k sušení dosahoval vzorek s obsahem vláken 1,25 % a to o 66 % vzhledem k referenčnímu vzorku. Při dalším přídatku vláken bylo patrné zvýšení citlivosti k sušení oproti vzorku s obsahem 1,25 % vláken, ale s rostoucím obsahem vláken trend snižování citlivosti k sušení pokračoval.

U celkové délkové změny byl pozorován pokles ihned po prvním přídatku keramických vláken, tento jev pokračoval se zvyšující se dávkou. U vzorku s obsahem vláken 1,75 % bylo zaznamenáno nejnižší smrštění, které činí oproti referenčnímu vzorku 43 % , ale naopak smrštění pálením bylo největší ze všech vzorků s obsahem keramických vláken. Vzorek s největším množstvím vláken (2 %) již vykazoval větší smrštění, které je srovnatelné se vzorkem s dávkou vláken 0,75 %. Z výsledků celkového smrštění lze tedy usuzovat, že optimální dávka keramických vláken je 1–1,75 %.

Délková změna sušením měla klesající trend již od prvního přídatku vláken, až po dávku 1,75 %. U vzorku s obsahem vláken 2 % stejně jako u celkového smrštění opět docházelo ke zvýšení smrštění. Nejnižší smrštění sušením, bylo zaznamenáno stejně jako u celkového smrštění, u vzorku s obsahem vláken 1,75 %, které činilo 35 % v porovnání s referenčním vzorkem. Vzorek s množstvím vláken 1,25 % narušil celkový klesající trend se zvyšujícím se obsahem vláken, u tohoto vzorku byla ovšem pozorována nejnižší délková změna pálením, která činí pouhých 0,23 %.

Keramická vlákna neměla žádný vliv na pevnost v tahu za ohybu. Největší nárůst pevnosti byl zaznamenán u vzorku s obsahem vláken 0,75 %, kdy byla pevnost oproti referenčnímu vzorku větší o 8,7 %. Podobně tomu bylo u výsledků pevnosti v tlaku, kdy se potvrdilo, že vlákna nemají velký vliv na konečné pevnosti. Největší nárůst pevnosti v tlaku byl u vzorku s obsahem vláken 1,25 %, pevnost se zvýšila o 21,7 % oproti referenčnímu vzorku.



Přídavek vláken měl vliv na statický modul pružnosti. U všech vzorků byl patrný pokles statického modulu pružnosti, který byl oproti referenčnímu vzorku až o 27 % nižší. Tyto vzorky vykazovaly větší deformace ve srovnání s referenčním vzorkem.

Skutečná vlhkost těsta se u vzorků s obsahem vláken snižovala v řádech 2 %. Nasákavost u vzorku s obsahem vláken 1,25 % rapidně vzrostla o 2,59 % oproti referenčnímu, naopak vzorek s obsahem vláken 1,5 % vykazoval snížení nasákavosti o 1,14 % oproti referenčnímu, u následujících vzorků nasákavost lineárně vzrůstala. Lze tedy konstatovat, že keramická vlákna zvyšují nasákavost s rostoucím procentuálním zastoupením ve vzorku.



*Obr. 15: Detail keramického vlákna v cihelném střepu.*

### **Skleněná vlákna délky 6 mm**

Skleněná vlákna délky 6 mm mají pozitivní vliv na snížení citlivosti k sušení. Vzorky s obsahem 0,5–1,25 % dosahují snížení citlivosti o 33 % oproti referenčnímu vzorku. Největší snížení citlivosti k sušení dosahovaly vzorky s obsahem vláken 1,5 a 1,75 % a to o 69 % vzhledem k referenčnímu vzorku. Při dalším přídavku vláken bylo patrné zvýšení citlivosti k sušení oproti vzorku s obsahem 1,75 % vláken.

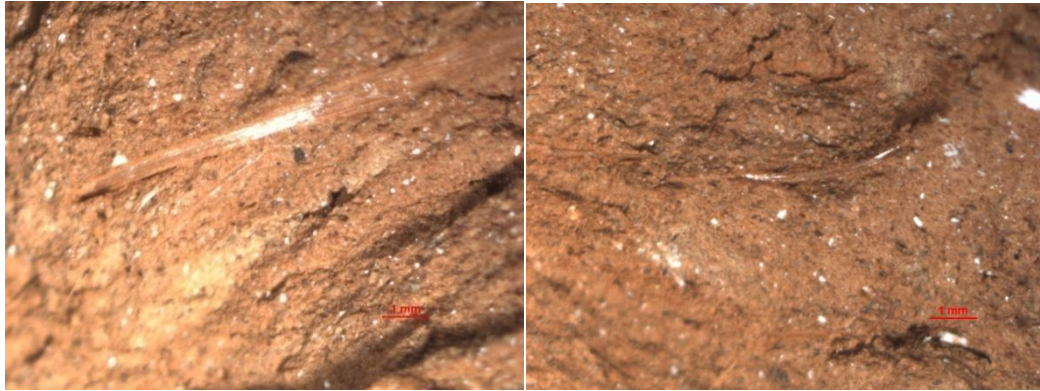
Celková délková změna byla u vzorků s obsahem vláken 0,5–1 % byla srovnatelná a vzhledem k referenčnímu vzorku došlo k poklesu v průměru o 22 %. U vzorku s obsahem vláken 2 % bylo zaznamenáno nejnižší smrštění, které činí oproti referenčnímu vzorku 39 %.

Délková změna sušením přesně odpovídala trendu u celkové délkové změny. Nejnižšího snížení délkové změny sušením dosahoval vzorek s obsahem vláken 2 %, které dosahovalo 32 % oproti referenčnímu vzorku.

Skleněná vlákna délky 6 mm měla negativní vliv na výslednou pevnost v tahu za ohybu. Jediný nárůst pevnosti v tahu za ohybu oproti referenčnímu vzorku byl zaznamenán u vzorku s obsahem vláken 0,75 %. Vzorek dosahoval pevnosti o 3 % větší než referenční vzorek. Vzorky s větším obsahem vláken vykazovaly horší pevnosti. Největší pokles pevnosti v tahu za ohybu byl zaznamenán u vzorku s obsahem vláken 1,75 %, kdy došlo k poklesu oproti referenčnímu vzorku o 30 %. U výsledků pevnosti v tlaku se potvrdilo, že vlákna nemají velký vliv na konečné pevnosti. Byl pozorován klesající trend s rostoucím obsahem vláken. Maximální nárůst pevnosti v tlaku byl pozorován u vzorku s obsahem vláken 0,5 %, kdy se pevnost zvýšila o 21,7 % oproti referenčnímu vzorku.

Přídavek vláken měl vliv na statický modul pružnosti, jelikož již u vzorku s nejnižší koncentrací vláken došlo k poklesu oproti referenčnímu vzorku a s rostoucí dávkou vláken docházelo lineárně k poklesu statického modulu pružnosti. Vzorek s obsahem 2 % vláken měl hodnotu statického modulu pružnosti o 36 % nižší než referenční vzorek. Tyto vzorky vykazovaly větší deformace ve srovnání s referenčním vzorkem.

Skutečná vlhkost těsta se u vzorků s obsahem vláken snižovala v řádech 0,5 %. K největšímu poklesu došlo pouze u vzorku s obsahem vláken 0,5 % a to o 1,3 % v celkové směsi. Nasákavost u vzorku s obsahem vláken 0,5–1 % se pohybovala v řádech 1 % s referenční hodnotou a lze tedy konstatovat, že toto množství vláken nemá na nasákavost vliv. Naopak u vzorků s obsahem vláken 1,25 a 1,5 % došlo ke zvýšení nasákavosti oproti referenčnímu vzorku o 24 %, u následujících vzorků byl zaznamenán mírný pokles nasákavosti, která dále lineárně vzrůstala. Lze tedy konstatovat, že skleněná vlákna délky 6 mm zvyšují nasákavost od obsahu 1,25 %.



*Obr. 16: Detail skleněného vlákna délky 6 mm v cihelném střepu.*

### **Skleněná vlákna délky 12 mm**

U vzorků s obsahem skleněných vláken délky 12 mm docházelo s rostoucí koncentrací ke snižování citlivosti k sušení do obsahu vláken 1 %, ale poté se s rostoucím obsahem vláken citlivost k sušení zvyšovala a u vzorku s obsahem vláken 1,5 % dokonce došlo k zvýšení citlivosti oproti referenčnímu vzorku. S dalším přidavkem vláken docházelo opět k rapidnímu poklesu citlivosti k sušení. Největší snížení citlivosti k sušení dosahoval vzorek s obsahem vláken 1 %, vzhledem k referenčnímu vzorku došlo k poklesu citlivosti k sušení o 70 %.

Obsah skleněných vláken délky 12 mm měl velice pozitivní vliv na celkovou délkovou změnu. S rostoucím obsahem vláken klesalo smrštění jednotlivých vzorků. U vzorku s obsahem vláken 2 % bylo zaznamenáno nejnižší smrštění, které činí oproti referenčnímu vzorku 44 %.

Délková změna sušením přesně odpovídala trendu u celkové délkové změny. Vzorek s obsahem vláken 2 % vykazoval snížení délkové změny sušením o 48 % oproti referenčnímu vzorku.

Skleněná vlákna délky 12 mm měla negativní vliv na pevnost v tahu za ohybu, kdy po přidání vláken docházelo jejich vlivem ke snižování pevností. Vzorky s obsahem vláken 0,5 a 2 % vykazovaly nejnižší pevnosti v tahu za ohybu. Největší zvýšení pevností bylo zaznamenáno u vzorků s obsahem vláken 1 a 1,25 %, která byla stále horší než pevnosti referenčního vzorku o 5 %. U výsledků pevnosti v tlaku, se potvrdilo, že vlákna nemají velký vliv na konečné pevnosti. Přidávky vláken

zásadním vlivem neovlivňovali výsledné pevnosti v tlaku. Pouze v vzorku s obsahem vláken 0,75 % došlo k navýšení pevnosti v tlaku oproti referenčnímu vzorku o 28 %.

Přídavek vláken měl vliv na statický modul pružnosti, kdy v dávce 1,25 a 1,5 % došlo k jeho zvýšení, v koncentraci 1,25 % dokonce o 9,5 % oproti referenčnímu. Vzorky vykazovaly menší deformace a větší odolnost. Naopak u zbylých vzorků byl pozorován pokles statického modulu pružnosti. Vzorek s obsahem 1,75 % vláken měl hodnotu statického modulu pružnosti o 46 % nižší než referenční vzorek. Tyto vzorky vykazovaly větší deformace ve srovnání s referenčním vzorkem.

Na skutečnou vlhkost těsta neměl přídavek skleněných vláken délky 12 mm zásadní vliv, skutečná vlhkost se pohybovala v rozmezí do 1 %. Nasákavost se po přidavku vláken zvyšovala oproti referenčnímu vzorku. U vzorku s obsahem vláken 1,25 % došlo k nejmenšímu nárůstu nasákavosti oproti referenčnímu vzorku o 5 %. K největšímu nárůstu došlo u vzorku s obsahem vláken 1,5 %, který měl hodnotu nasákavosti o 28 % větší než referenční vzorek. S dalším přidavkem vláken nasákavost lineárně klesala.



*Obr. 17: Detail skleněného vlákna délky 12 mm v cihelném střepu.*

### **Čedičová vlákna délky 6 mm**

U vzorků s obsahem čedičových vláken délky 6 mm došlo ihned u přidavku nejmenší koncentrace vláken ke snížení citlivosti k sušení o 50 %. S rostoucím množstvím vláken citlivost klesala, ale nedocházelo k zásadnímu snižování. Vzorky

s obsahem vláken 1,25; 1,5; 2 % měly stejné snížení citlivosti k sušení oproti referenčnímu vzorku o 62 %.

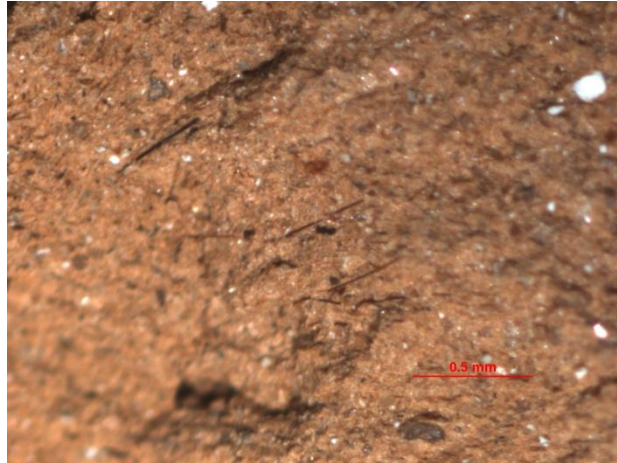
Obsah čedičových vláken délky 6 mm měl velice pozitivní vliv na celkovou délkovou změnu. Největší snížení bylo zaznamenáno u vzorku s obsahem vláken 1,5 %, kdy pokles byl oproti referenčnímu o 45 %.

Délková změna sušením přesně odpovídala trendu u celkové délkové změny. Největší snížení bylo zaznamenáno u vzorku s obsahem vláken 1,5 %, snížení činilo 50 % oproti referenčnímu vzorku.

Čedičová vlákna délky 6 mm měla negativní vliv na výslednou pevnost v tahu za ohybu. Vzorek s obsahem vláken 1,75 % vykazoval největší pevnost, která byla ovšem stejná jako u referenčního vzorku. Nejnižší pevnost v tahu za ohybu byla zaznamenána u vzorku s obsahem vláken 2 %, která byla horší než pevnost referenčního vzorku o 24 %. U výsledků pevnosti v tlaku, se potvrdilo, že vlákna nemají velký vliv na konečné pevnosti. Přídavky vláken zásadním vlivem neovlivňovali výsledné pevnosti, spíše docházelo k nepatrnému zhoršení.

Přídavek vláken měl vliv na statický modul pružnosti již od prvního přídavku. U vzorků z počátku docházelo ke snižování statického modulu pružnosti, do koncentrace vláken 1,5 % kdy došlo k maximálnímu snížení o 49 % oproti referenčnímu vzorku. S dalším přídavkem vláken docházelo ke zvyšování. Žádný vzorek neměl hodnotu statického modulu pružnosti větší než referenční vzorek.

Na skutečnou vlhkost těsta neměl přídavek čedičových vláken délky 6 mm zásadní vliv, skutečná vlhkost se u vzorků s obsahem 0,5 a 0,75 % snížila oproti referenčnímu vzorku, ale s dalším přídavkem se dostala na hodnoty srovnatelné s referenčním vzorkem. U vzorku s obsahem vláken 2 % došlo dokonce k nárůstu vzhledem k referenčnímu vzorku o 10 %. Nasákavost se po přídavku vláken zvyšovala oproti referenčnímu vzorku, pouze u vzorku s obsahem vláken 0,5 %, kdy byl patrný pokles o 9 %. S rostoucí koncentrací vláken docházelo k nárůstu nasákavosti, pouze u vzorku s obsahem vláken 1,75 % došlo k poklesu oproti ostatním vzorkům. K největšímu nárůstu došlo u vzorku s obsahem vláken 2 %, který měl hodnotu nasákavosti o 67 % větší než referenční vzorek.



*Obr. 18: Detail čedičového vlákna délky 6 mm v cihelném střepeu.*

### **Čedičová vlákna délky 12 mm**

Ihned u prvního vzorku s nejnižším obsahem čedičových vláken délky 12 mm došlo ke snížení citlivosti k sušení, ale pokles nebyl tak extrémní, jako u čedičových vláken délky 6 mm. S rostoucím množstvím vláken citlivost klesala, ale nedocházelo k zásadnímu snižování. Vzorky s obsahem vláken 0,75; 1; 1,5; 1,75 % vykazovaly nejnižší snížení citlivosti k sušení oproti referenčnímu.

Obsah čedičových vláken délky 12 mm měl velice pozitivní vliv na celkovou délkovou změnu. Největší snížení bylo zaznamenáno u vzorku s obsahem vláken 1,5 %, kdy pokles byl oproti referenčnímu o 44 %.

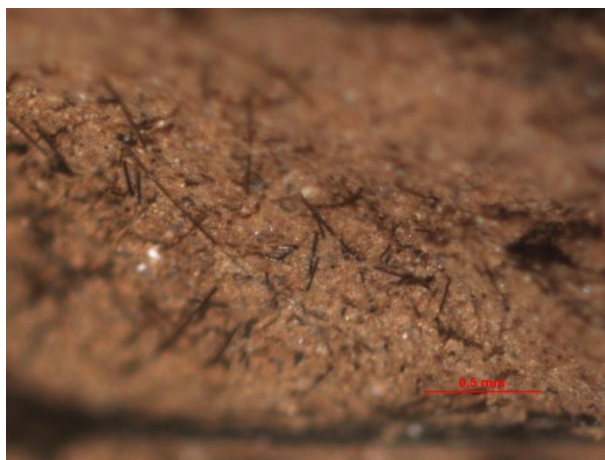
Délková změna sušením přesně odpovídala trendu u celkové délkové změny. Nejnižší snížení délkové změny sušením bylo zaznamenáno u vzorku s obsahem vláken 1,5 %, snížení činilo 48 % oproti referenčnímu vzorku.

Čedičová vlákna délky 12 mm neměla zásadní vliv na pevnost v tahu za ohybu. Vzorky s obsahem vláken 0,5; 0,75; 1; a 2 % vykazovaly pevnosti v tahu za ohybu srovnatelné s pevností referenčního vzorku. Nejmenší pevnost v tahu za ohybu byla zaznamenána u vzorků s obsahem vláken 1,25 %, která byla horší než pevnost referenčního vzorku o 19 %. Největší pevnost v tahu za ohybu byla zaznamenána u vzorku s obsahem vláken 1,5 %, která byla větší než pevnost referenčního vzorku o 15 %. Z výsledků pevnosti v tlaku je patrné, že přítomnost vláken má vliv na konečné pevnosti. U vzorků s obsahem vláken 0,5 a 0,75 % byl znatelný nárůst

pevností oproti referenčnímu nejvýše o 11 %. U další dávky vláken byl znatelný pokles na minimální hodnotu o 16 % nižší než u referenčního vzorku. Další přídatky vláken zvyšovaly výsledné pevnosti.

Přídavek vláken měl vliv na statický modul pružnosti, kdy byl zaznamenán znatelný pokles. U vzorků s obsahem vláken 0,75; 1 a 1,25 došlo k nejnižšímu snížení o 27 % oproti referenčnímu vzorku. U žádného vzorku nedošlo ke zvýšení oproti referenčnímu.

Čedičová vlákna délky 12 mm měla na skutečnou vlhkost těsta pozitivní vliv, skutečná vlhkost se u všech vzorků snížila oproti referenčnímu. U vzorku s obsahem vláken 0,75 a 1,5 % došlo k poklesu oproti referenčnímu vzorku o 9 %. Nasákavost se po přidavku vláken zvyšovala oproti referenčnímu vzorku, pouze u vzorku s obsahem vláken 0,5 % byl patrný pokles o 9 %. K největšímu nárůstu nasákavosti došlo u vzorku s obsahem vláken 1,5 %, který měl hodnotu nasákavosti o 20 % větší než referenční vzorek.



*Obr. 19: Detail čedičového vlákna délky 12 mm v cihelném střepu.*

### **Odpadní čedičová vlákna**

Vlivem obsahu odpadních čedičových vláken došlo k nárůstům citlivosti k sušení u vzorků s obsahem vláken 1 a 1,5 % oproti referenčnímu o 18 %. U vzorků s obsahem vláken 1,25 a 1,75 % byl patrný pokles, vzorek s 1,75 % vláknou vykazoval snížení citlivosti k sušení vzhledem k referenčnímu o 19 %.

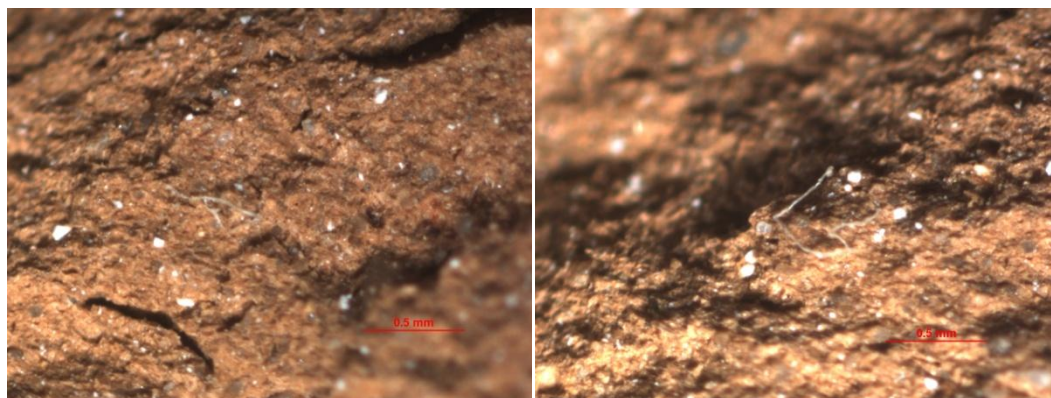
Obsah odpadních čedičových vláken měl velice pozitivní vliv na celkovou délkovou změnu. Největší snížení bylo zaznamenáno u vzorku s obsahem vláken 1,75 %, kdy pokles byl oproti referenčnímu o 22 %.

Délková změna sušením přesně odpovídala trendu u celkové délkové změny. Snížení délkové změny sušením bylo 23 % oproti referenčnímu u vzorku s obsahem vláken 1,75 %

Odpadní čedičová vlákna měla zásadní vliv na zlepšení pevnosti v tahu za ohybu. Vzorek s obsahem vláken 1,25 % vykazoval nejmenší pevnost v tahu za ohybu, která byla stále vyšší než pevnost referenčního vzorku o 24 %. Největší pevnost v tahu za ohybu byla zaznamenána u vzorků s obsahem vláken 1,5 % , která byla větší než pevnost referenčního vzorku o 41 %. U výsledků pevnosti v tlaku, byl zaznamenán nárůst pevností u všech vzorků, nejvýše o 33 % oproti referenčnímu vzorku.

Přídavek vláken měl zásadní vliv na statický modul pružnosti, kdy s rostoucí koncentrací docházelo k lineárnímu poklesu oproti referenčnímu vzorku, u vzorku s největším obsahem vláken (1,75 %) došlo k poklesu oproti referenčnímu vzorku o 21 %.

Přídavek odpadních čedičových vláken měl na skutečnou vlhkost těsta pozitivní vliv, skutečná vlhkost se u vzorků snížila oproti referenčnímu vzorku v průměru o 12 %. Nasákavost byla u vzorku s obsahem vláken 1 % srovnatelná s referenčním vzorkem. K největšímu snížení nasákavosti došlo u vzorku s obsahem vláken 1 %, který měl hodnotu nasákavosti o 15 % nižší než referenční vzorek.



*Obr. 20: Detail odpadního čedičového vlákna v cihelném střepu.*



## **Odpadní kord z pneumatik**

Při obsahu odpadního kordu z pneumatik došlo ke snížení citlivosti k sušení u vzorků s obsahem vláken 0,75; 1 a 1,5 % oproti referenčnímu o 58 %.

Obsah odpadních kordu z pneumatik měl velice pozitivní vliv na celkovou délkovou změnu. Největší snížení bylo zaznamenáno u vzorku s obsahem vláken 1,5 %, kdy pokles byl oproti referenčnímu o 23 %. S rostoucí dávkou klesalo smrštění lineárně.

Délková změna sušením přesně odpovídala trendu u celkové délkové změny, kdy nejnižšího smrštění dosahoval vzorek s obsahem vláken 1,5 %. Snížení délkové změny sušením bylo u tohoto vzorku 26 % oproti referenčnímu vzorku.

Odpadní kord z pneumatik měl zásadní vliv na zlepšení pevnosti v tahu za ohybu. Vzorek s obsahem vláken 1,25 % vykazoval nejmenší pevnost v tahu za ohybu, která byla stále vyšší než pevnost referenčního vzorku o 18 %. Největší pevnost v tahu za ohybu byla zaznamenána u vzorků s obsahem vláken 1,5 %, která byla větší než pevnost referenčního vzorku o 52 %. U výsledků pevnosti v tlaku, byl zaznamenán největší nárůst pevností u vzorku s obsahem 1 % oproti referenčnímu vzorku o 38 %. U všech vzorků došlo ke zvýšení pevnosti v tlaku.

Přídavek vláken měl zásadní vliv na statický modul pružnosti, kdy s rostoucí koncentrací docházelo lineárně k nárůstu oproti referenčnímu vzorku, u vzorku s nejmenším obsahem vláken (0,75 %) došlo k poklesu oproti referenčnímu vzorku o 17 %.

Přídavek odpadního kordu měl na skutečnou vlhkost těsta pozitivní vliv, skutečná vlhkost se nejvíce snížila u vzorku s obsahem 1 % oproti referenčnímu vzorku o 15 %. Nasákavost vzrostla u vzorků s obsahem vláken 0,75 a 1 % oproti referenčnímu vzorku o 18 %. U vzorků s obsahem vláken 1,25 a 1,5 % vzrostla o 26 %.



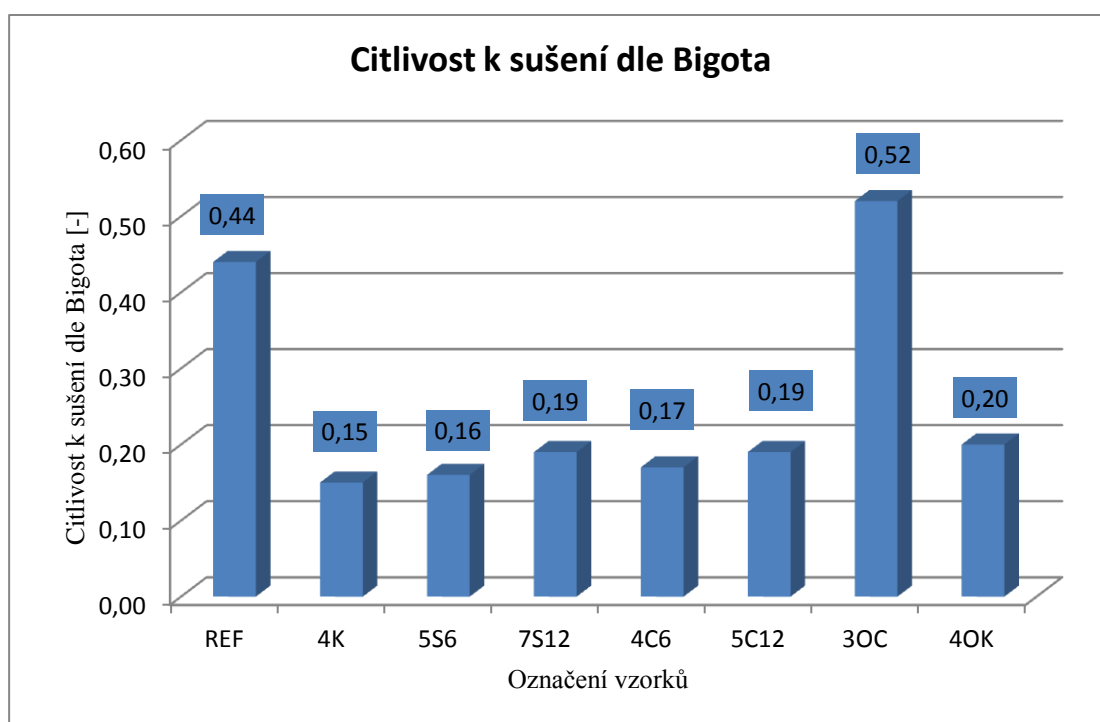
*Obr. 21: Detail vyhoření odpadního kordu v cihelném střepe.*

Pevnost v tahu za ohybu při použití čedičových vláken délky 12 mm byla lepší po výpalu než u vysušek. Největší zlepšení se projevilo u vzorků s obsahem skleněných vláken délky 6 mm, kdy byla pevnost v tahu za ohybu u vysušených vzorků o 18 % vyšší než po výpalu.

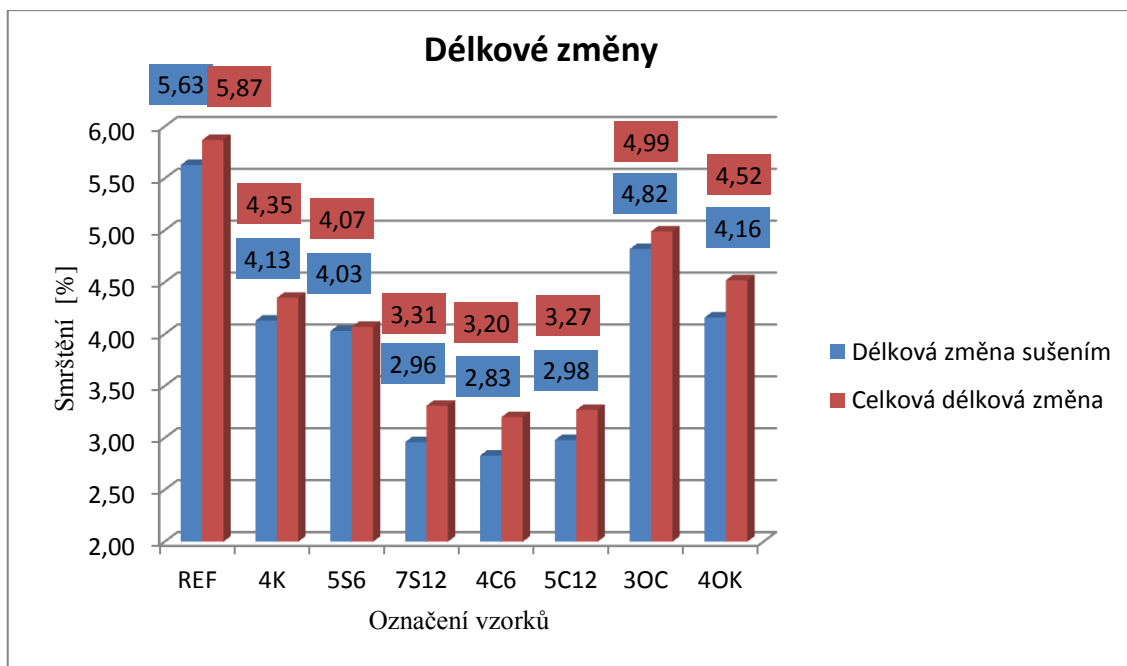
Zvýšená ztráta hmotnosti pálením byla zaznamenána pouze u vzorků s obsahem odpadního kordu, kdy zřejmě docházelo vlivem výpalu k vyhořívání textilních vláken. Tato ztráta hmotnosti oproti ostatním vzorkům se pohybovala v rozmezí 1–3 % a s rostoucím obsahem vláken se zvyšovala ztráta hmotnosti pálením, což potvrzuje vyhořívání vláken ve vzorku. Vyhořená vlákna nijak neovlivnila výslednou objemovou hmotnost, takže se nedá předpokládat, že by došlo ke zlepšení tepelně technických vlastností u vzorků.

Tepelně technické vlastnosti jsou jedním ze základních sledovaných veličin u cihlářských výrobků, jelikož dnešní trend je, aby výsledná stavba měla nízké energetické náročnosti. Při stavění domů z cihelného systému je tedy pro výsledné tepelně technické vlastnosti stavby důležitý právě součinitel tepelné vodivosti, který se u současných bloků typu Therm pohybuje okolo  $0,094 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Určujícím faktorem pro konečnou hodnotu součinitele tepelné vodivosti je objemová hmotnost, kdy při nízké objemové hmotnosti dosahují výrobky nízké tepelné vodivosti. Při tomto výzkumu byla použita surovina používaná ve výrobním závodě Wienerberger pro výrobu cihelných bloků typu Therm, do které byly přimíchány různé typy vláken s různou koncentrací. U výsledných výrobků byla provedena zkouška na zjištění objemové hmotnosti, která neprokázala u žádné sady vzorků snížení či zvýšení

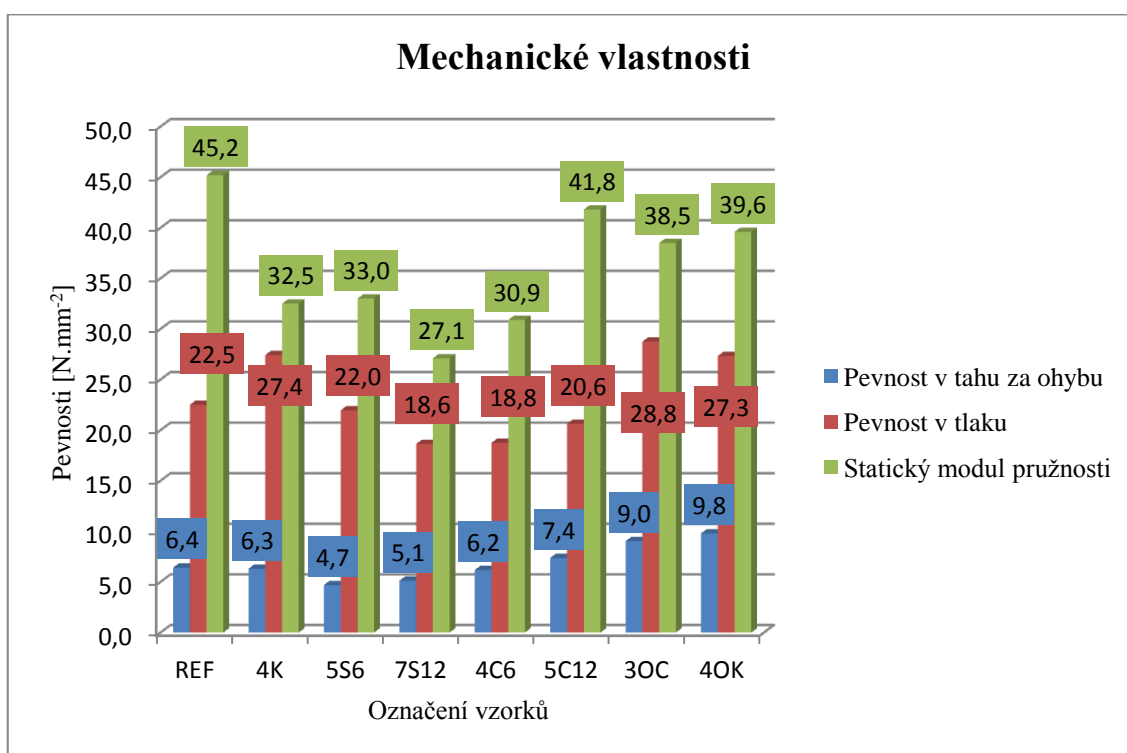
objemové hmotnosti oproti referenčnímu vzorku, který neobsahoval žádná vlákna. Vzhledem k tomuto zjištění se dá usuzovat, že součinitel tepelné vodivosti přidavek vláken do suroviny nijak neovlivní. Předpoklad, že by přidavek minerálních vláken, která slouží jako tepelná izolace mohl snížit součinitel tepelné vodivosti se nepotvrdil. Při dávkování odpadního kordu z pneumatik do směsi se předpokládalo vyhoření textilních vláken a kaučuku, což by mohlo vézt ke snížení objemové hmotnosti a tím pádem ke snížení součinitele tepelné vodivosti. Ovšem tato definice, se také nepotvrdila, u výsledných vzorků došlo k vyhoření textilních vláken i kaučuku, což bylo patrné při pozorování mikrostruktury, ale nedošlo k významnému snížení objemové hmotnosti, který by vedla ke snížení součinitele tepelné vodivosti. Z těchto zjištěných skutečností bylo rozhodnuto zkoušku pro zjištění součinitele tepelné vodivosti neprovádět, protože by neposkytnula žádné nové výsledky a pouze by potvrdila co je již známo.



Graf. 28: Porovnání citlivosti k sušení.



Graf. 29: Porovnání délkových změn.



Graf. 30: Porovnání Pevnosti v tahu za ohybu a tlaku a pružnost.

## 7. Závěr

Cílem diplomové práce bylo experimentálně posoudit možnost využití vláken jako příměsí v surovinové směsi pro zvýšení pevnosti střepu cihelných tvarovek typu Therm (ČSN EN 771-1), při zachování tepelně izolačních vlastností.

Tepelně izolační vlastnosti nebyly přidavkem použitých vláken nikterak omezeny a tudíž jejich použití neovlivní výsledné vlastnosti. Vláknina se dávkovala do směsi v kolovém mlýnu, jejich homogenizace ve směsi nebyla nikterak obtížná a vlákna netvořila ve směsi shluky, jak nám potvrdily snímky z mikroskopu.

Optimální dávkování vláken pro použití jako příměs v surovinové směsi cihlářského střepu je podle naměřených a vypočtených hodnot 1,25–1,5 %.

Z výsledků je patrné, že všechna použitá vlákna v určitých koncentracích snižují citlivost k sušení. V případě potřeby snížení citlivosti k sušení u surovinové směsi je dle zjištěných skutečností vhodné použít keramická, skleněná, čedičová vlákna i odpadní kord z pneumatik.

Pro zlepšení odolnosti výsušků při manipulaci je vhodné použít skleněná vlákna, která zlepšovala pevnost v tahu za ohybu u výsledných vzorků.

Dále je patrné snížení délkových změn po přidavku všech testovaných vláken, kdy největší snížení bylo zaznamenáno u skleněných vláken délky 12 mm a čedičových vláken délky 6 a 12 mm.

Zvýšení mechanických vlastností bylo docíleno přidavkem vláken keramických od firmy Basaltex, vláken čedičových délky 12 mm od firmy Basaltex, vláken odpadních čedičových od firmy Isover a přidavkem odpadního kordu z pneumatik. Z výsledků bylo patrné, že při překročení optimální dávky dochází k poklesu mechanických vlastností, protože jílové již nejsou schopny dostatečně držet materiál po hromadě. U všech vzorků byl patrný pokles statického modulu pružnosti, což značí zvýšenou deformaci u vzorků.

Keramická vlákna zvýšila pouze pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu téměř neovlivnila. U vzorků s čedičovými vlákny délky 12 mm bylo patrné zvýšení

pevnosti v tahu za ohybu, ale pokles v pevnosti v tlaku. Vzorek s obsahem odpadních čedičových vláken vykazoval zvýšení v tahu za ohybu i tlaku stejně jako vzorek s obsahem odpadního kordu. Lze tedy říci, že přídavek odpadních čedičových vláken a přídavek odpadního kordu zlepší výsledné mechanické vlastnosti.

Z výsledků výzkumu se jako neoptimálnější možnost jeví použití odpadních vláken čedičových, nebo odpadního kordu z pneumatik. Odpadní vlákna čedičová, vzniklá při plnění bloků, nemají využití a musejí se ukládat na skládkách, proto je vhodné jejich použití. Vlákna, která se nachází ve výrobnách by nepotřebovala žádnou délkovou úpravu, pouze by se muselo odstranit pojivo, které je možné odstranit při teplotě 600 °C, kdy dojde k jeho vyhoření. Výrobny minerálních izolací tento odpad produkují denně a bylo by tedy možné jeho využití.

Navrhoval bych výzkum na zjištění neoptimálnější dávky odpadních čedičových vláken do směsi pro přípravu plastického těsta a také simulaci výroby s použitím vláken, která by ověřila, zda je použití a zavedení do výroby možné.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] Herainová Marcela - *Cihlářská výroba a kameniva*
- [2] Heinrich, P. *Vývoj tepelně technických vlastností zdiva z pálených cihel*. Stavebnictví. 2011, 06-07. ISSN: 1802-2030.
- [3] Maria Laura Santarelli, Francesca Sbardella, Martina Zuena, Jacopo Tirillò, Fabrizio Sarasini - *Basalt fiber reinforced natural hydraulic lime mortars: A potential bio-based material for restoration*, Received 15 April 2014, Accepted 17 June 2014, Available online 24 June 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.06.041>  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306914004907>)
- [4] Jing Zhang, Xue Dong, Feng Hou, Haiyan Du, Jiachen Liu, Anran Guo - *Effects of fiber length and solid loading on the properties of lightweight elastic mullite fibrous ceramics*, Received 2 October 2015, Revised 7 November 2015, Accepted 30 November 2015, Available online 10 December 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.11.176>  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884215022956>)
- [5] Jindřich Melichar, *Optimalizace hliněných stavebních prvků*, Brno 2012
- [6] Mehmet Emin Arslan - *Effects of basalt and glass chopped fibers addition on fracture energy and mechanical properties of ordinary concrete: CMOD measurement*, Received 22 February 2016, Revised 23 March 2016, Accepted 29 March 2016, Available online 4 April 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.176>  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816304792>)
- [7] Cory High<sup>a</sup>, Hatem M. Seliem<sup>b</sup>, Adel El-Safty<sup>c</sup>, Sami H. Rizkalla<sup>a</sup> - *Use of basalt fibers for concrete structures*, Received 13 February 2014, Revised 1 July 2015, Accepted 14 July 2015, Available online 4 August 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.138>  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815301653>)

- [8] John Branston<sup>a</sup>, Sreekanta Das<sup>a,†</sup>, Sara Y. Kenno<sup>b</sup>, Craig Taylor<sup>b</sup> - *Mechanical behaviour of basalt fibre reinforced concrete*, Received 19 September 2015, Revised 2 August 2016, Accepted 3 August 2016, Available online 10 August 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.009>  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816312727>)
- [9] Ahmet B. Kizilkanat<sup>a,†</sup>, Nihat Kabay<sup>a</sup>, Veysel Akyüncü<sup>b</sup>, Swaptik Chowdhury<sup>c</sup>, Abdullah H. Akça<sup>d</sup> - *Mechanical properties and fracture behavior of basalt and glass fiber reinforced concrete: An experimental study*, Received 21 June 2015, Revised 2 October 2015, Accepted 5 October 2015, Available online 5 November 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.006>  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815304293>)
- [10] Dufka, A. *Laboratorní experimentální metody*, Brno: VUT Brno, 2008.
- [11] ČSN 72 1074 - Stanovení optimální a pracovní vlhkosti keramických těst Pfefferkornovým přístrojem. 1985
- [12] ČSN 72 1565-1 - Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení vlhkosti
- [13] ČSN 72 1565-11 - Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení maximální porovnávací rychlosti nezávadného sušení. Stanovení kritické vlhkosti.
- [14] ČSN 72 1073 - Stanovení délkových změn keramických surovin sušením a pálením
- [15] ČSN 72 2603 - Zkoušení cihlářských výrobků. Stanovení hmotnosti, objemové hmotnosti a nasákavosti.
- [16] ČSN 72 1565-6 - Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení ztráty hmotnosti pálením, nasákavosti, zdánlivé pórovitosti a objemové hmotnosti
- [17] Mikroskop [Online]. [cit. 2016-12-5]. Dostupné z <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mikroskop>
- [18] ČSN EN 843-2 (727541) - Speciální technická keramika - Mechanické vlastnosti monolitické keramiky při pokojové teplotě - Část 2: Stanovení Youngova modulu, modulu pružnosti ve smyku a Poissonova poměru
- [19] ČSN 72 2605 - Zkoušení cihlářských výrobků. Stanovení mechanických vlastností.



- [20] ISOMET 2114 – Thermal properties analyzer, User's Guide. Bratislava, [Online]. [cit. 2016-12-16]. Dostupné z [http://trim.fce.vutbr.cz/manual\\_do\\_cviceni.pdf](http://trim.fce.vutbr.cz/manual_do_cviceni.pdf)
- [21] Jan Fric, *Možnosti zvýšení užitných vlastností lehčeného cihlářského střepeu*, Brno 2013

## Seznam obrázků

Obr. 1: Vývoj tepelně izolačních tvarovek [2].	21
Obr. 2: Druhy bloků THERM plněných tepelnou izolací [2].	22
Obr. 3: Pfefferkornův přístroj [11].	33
Obr. 4: Bigotova křivka k určení kritické vlhkosti [13].	35
Obr. 5: Zařízení pro zatěžování zlomku trámečku [19].	40
Obr. 6: Zařízení pro pevnost v tahu za ohybu [19].	40
Obr. 7: RTG difrakční analýza zeminy Novosedly [21].	42
Obr. 8: DTA, DTG TG zeminy Novosedly [21].	43
Obr. 9: Čedičová vlákna Basaltex.	45
Obr. 10: Keramická vlákna Basaltex ve formě granulí.	46
Obr. 11: Skleněná vlákna Anti - Crack HP.	47
Obr. 12: Odpadní čedičová vlákna ISOVER.	48
Obr. 13: Odpadní kord z pneumatik.	49
Obr. 14: Forma na výrobu cihel 100x50x20 mm.	50
Obr. 15: Detail keramického vlákna v cihelném střepeu.	73
Obr. 16: Detail skleněného vlákna délky 6 mm v cihelném střepeu.	75
Obr. 17: Detail skleněného vlákna délky 12 mm v cihelném střepeu.	76
Obr. 18: Detail čedičového vlákna délky 6 mm v cihelném střepeu.	78
Obr. 19: Detail čedičového vlákna délky 12 mm v cihelném střepeu.	79
Obr. 20: Detail odpadního čedičového vlákna v cihelném střepeu.	80

Obr. 21: Detail vyhoření odpadního kordu v cihelném střepu.	82
---	----

## **Seznam tabulek**

Tab. 1: Vývoj pevností.	20
Tab. 2: Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 [2].	21
Tab. 3: Technické vlastnosti čedičových vláken Basaltex.	44
Tab. 4: Chemické složení čedičových vláken Basaltex.	44
Tab. 5: Fyzikální a mechanické vlastnosti čedičových vláken Basaltex.	45
Tab. 6: Technické vlastnosti keramických vláken Basaltex.	46
Tab. 7: Chemické složení keramických vláken Basaltex.	46
Tab. 8: Technické vlastnosti skleněných vláken.	47
Tab. 9: Technické vlastnosti čedičových vláken.	48
Tab. 10: Referenční sada vzorků - Zkoušky plastického těsta a výsušků.	50
Tab. 11: Referenční sada vzorků - Zkoušky na vypáleném střepu.	50
Tab. 12: Vzorky s keramickými vlákny - Zkoušky plastického těsta a výsušků.	51
Tab. 13: Vzorky s keramickými vlákny - Zkoušky na vypáleném střepu.	52
Tab. 14: Vzorky se skleněnými vlákny 6 mm - Zkoušky plastického těsta a výsušků.	53
Tab. 15: Vzorky se skleněnými vlákny 6 mm - Zkoušky na vypáleném střepu.	54
Tab. 16: Vzorky se skleněnými vlákny 12 mm - Zkoušky plastického těsta a výsušků.	56
Tab. 17: Vzorky se skleněnými vlákny 12 mm - Zkoušky na vypáleném střepu.	57
Tab. 18: Vzorky s čedičovými vlákny 6 mm - Zkoušky plastického těsta a výsušků.	58
Tab. 19: Vzorky s čedičovými vlákny 6 mm - Zkoušky na vypáleném střepu.	59
Tab. 20: Vzorky s čedičovými vlákny 12 mm - Zkoušky plastického těsta a výsušků.	61

Tab. 21: Vzorky s čedičovými vlákny 12 mm - Zkoušky na vypáleném střepu.	62
Tab. 22: Vzorky s odpadními čedičovými vlákny - Zkoušky plastického těsta a výsušků.	63
Tab. 23: Vzorky s odpadním kordem z pneumatik - Zkoušky plastického těsta a výsušků.	64
Tab. 24: Vzorky s odpadními čedičovými vlákny - Zkoušky na vypáleném střepu.	65
Tab. 25: Vzorky s odpadním kordem z pneumatik - Zkoušky na vypáleném střepu.	65
Tab. 26: Výsledky zkoušek OH, Nasákavosti, ZP a ZH.	67
Tab. 27: Pevnost v tahu za ohybu u vysušených a vypálených vzorků.	71
<b>Seznam grafů</b>	
Graf. 1: Pevnost v tahu za ohybu, čedičová a skleněná vlákna [6].	25
Graf. 2: Modul pružnosti, čedičová a skleněná vlákna [6].	26
Graf. 3: Vzorky s keramickými vlákny - Citlivost k sušení dle Bigota.	51
Graf. 4: Vzorky s keramickými vlákny - Délkové změny.	52
Graf. 5: Vzorky s keramickými vlákny - Pevnost v tlaku a tahu za ohybu a pružnost	53
Graf. 6: Vzorky se skleněnými vlákny 6 mm - Citlivost k sušení dle Bigota.	54
Graf. 7: Vzorky se skleněnými vlákny 6 mm - Délkové změny.	55
Graf. 8: Vzorky se skleněnými vlákny 6 mm - Pevnost v tlaku a tahu za ohybu a pružnost.	55
Graf. 9: Vzorky se skleněnými vlákny 12 mm - Citlivost k sušení dle Bigota.	56
Graf. 10: Vzorky se skleněnými vlákny 12 mm - Délkové změny.	57
Graf. 11: Vzorky se skleněnými vlákny 12 mm - Pevnost v tlaku a tahu za ohybu a pružnost.	58
Graf. 12: Vzorky s čedičovými vlákny 6 mm - Citlivost k sušení dle Bigota.	59

Graf. 13: Vzorky s čedičovými vlákny 6 mm - Délkové změny.	60
Graf. 14: Vzorky s čedičovými vlákny 6 mm - Pevnost v tlaku a tahu za ohybu a pružnost.	60
Graf. 15: Vzorky s čedičovými vlákny 12 mm - Citlivost k sušení dle Bigota.	61
Graf. 16: Vzorky s čedičovými vlákny 12 mm - Délkové změny.	62
Graf. 17: Vzorky s čedičovými vlákny 12 mm - Pevnost v tlaku a tahu za ohybu a pružnost.	63
Graf. 18: Vzorky s odpadními čedičovými vlákny a odpadním kordem z pneumatik - Citlivost k sušení dle Bigota.	64
Graf. 19: Vzorky s odpadními čedičovými vlákny a odpadním kordem z pneumatik - Délkové změny.	66
Graf. 20: Vzorky s odpadními čedičovými vlákny a odpadním kordem z pneumatik - Pevnost v tlaku a tahu za ohybu a pružnost.	66
Graf. 21: Vzorky s keramickými vlákny - Nasákavost a skutečná vlhkost.	68
Graf. 22: Vzorky se skleněnými vlákny 6 mm - Nasákavost a skutečná vlhkost.	68
Graf. 23: Vzorky se skleněnými vlákny 12 mm - Nasákavost a skutečná vlhkost.	69
Graf. 24: Vzorky s čedičovými vlákny 6 mm - Nasákavost a skutečná vlhkost.	69
Graf. 25: Vzorky s čedičovými vlákny 12 mm - Nasákavost a skutečná vlhkost.	70
Graf. 26: Vzorky s odpadními čedičovými vlákny a odpadním kordem - Nasákavost a skutečná vlhkost.	70
Graf. 27: Pevnost v tahu za ohybu.	71
Graf. 28: Porovnání citlivosti k sušení.	83
Graf. 29: Porovnání délkových změn.	84
Graf. 30: Porovnání Pevnosti v tahu za ohybu a tlaku a Pružnosti.	84

### **Seznam zkratk**

CaCO<sub>3</sub> - Uhličitan vápenatý

SiO<sub>2</sub> - Oxid křemičitý

$\text{Al}_2\text{O}_3$  - Oxid hlinitý

$\text{CaO}$  - Oxid vápenatý

$\text{CaCO}_2$  - Uhličitan vápenatý

$\text{Ca(OH)}_2$  - Hydroxid vápenatý

$\text{CO}_2$  - Oxid uhličitý

$\text{K}_2\text{O}$  - Oxid draselný

$\text{Na}_2\text{O}$  - Oxid sodný

CDm - Typ příčně děrované cihly

CD Týn - Typ prvního cihelného bloku

THERM - Typ cihelného bloku

CEM I 42.5R - Portlandský cement, rychlovazný

BF - čedičová vlákna

GF - skleněná vlákna

MB - minibars - čedičová vlákna do betonu

SF - ocelová vlákna

FRP - kompozit vyztužený vlákny s polymerní matricí

RTG - rentgen

DTA, DTG, TG - termické analýzy

PUR - polyuretan