



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

**VYUŽITÍ NESTANDARDNÍHO DROBNÉHO  
KAMENIVA DO STMELENÝCH SMĚSÍ  
PODKLADNÍCH VRSTEV VOZOVEK**

THE USE OF THE WASTE AGGREGATES FOR BOUND MIXTURES OF PAVEMENTS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Adam Chloupek**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.**

**BRNO 2019**



# 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>	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav pozemních komunikací

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Adam Chloupek
<b>Název</b>	Využití nestandardního drobného kameniva do stmelěných směsí podkladních vrstev vozovek
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2018
<b>Datum odevzdání</b>	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

---

doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací

ČSN EN 14227-1 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 1: Směsi z kameniva stmelené cementem

ČSN EN 14227-5 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 5: Směsi z kameniva stmelené hydraulickým silničním pojivem

veřejně přístupné články a literatura z internetu (open sources)

diplomové práce 2010-2017

výzkumné zprávy, příspěvky z odborných konferencí, apod.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je najít využití pro sekundární drobná kameniva z produkce konkrétního kamenolomu v ČR. Zvláštní zaměření do podkladních vrstev vozovek na směsi stmelené s cementem a hydraulickým pojivem. Využitím směsí drcených odpadních kameniv v podkladních vrstvách silnic mohou být výrazně uspořeny kvalitní kameniva do inženýrských konstrukcí.

Předpokládá se ověření laboratorně namíchaných směsí drceného kameniva ve frakci 0/2 a 0/4 (8), případně 0/16 pro stmelené směsi (SC C0,8/1,5; SC C1,5/2; SC C3/4) s ověřením všech důležitých návrhových parametrů směsí podle příslušných normových předpisů.

## 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. Dušan Stehlík, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá možnostmi využití nestandardního drobného drceného kameniva v podkladních vrstvách. Cílem je výzkum použití kameniva z konkrétní lokality a jeho následné posouzení. V teoretické části jsou shrnuty základní informace o stmelěných vrstvách a normové požadavky na stmelěné směsi a jejich materiály. Praktická část popisuje variantní návrh směsi a následné ověření důležitých návrhových parametrů pomocí průkazných a experimentálních zkoušek. Získané poznatky ohledně navržených směsí potvrzují možnost využití těchto materiálů v podkladních vrstvách.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Drobné drcené kamenivo, nestandardní frakce kameniva, směsi stmelené cementem, podkladní vrstvy, síťový rozbor, Proctor modifikovaný, pevnost v tlaku, pevnost v příčném tahu, odolnost proti mrazu a vodě, modul pružnosti.

## **ABSTRACT**

The works deals with the possibilities of using non-standard fraction of fine crushed aggregate in route base layers. Goal of my thesis is research of using material from specific location. Theoretical part summarizes basic knowledge regarding bound mixtures and their normative requirements. Practical part of my thesis describes my various mixture design and following testing and determination of design properties by official and experimental tests. The conclusion summarizes the researched outputs and findings, which confirm the future possibilities of using this material in base layers.

## **KEYWORDS**

Fine crushed aggregate, non-standard fraction of material, mixtures bounded by cement, bounded layers, base layers, screen analysis, Proctor modified, compressive strength, cross-tensile strength, frost and water resistance.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. Adam Chloupek *Využití nestandardního drobného kameniva do stmelěných směsí podkladních vrstev vozovek*. Brno, 2019. 73 s., 81 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Využití nestandardního drobného kameniva do stmelených směsí podkladních vrstev vozovek* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 1. 2019

---

Bc. Adam Chloupek  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Využití nestandardního drobného kameniva do stmelených směsí podkladních vrstev vozovek* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2019

---

Bc. Adam Chloupek  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat svému vedoucímu mé práce doc. Ing. Dušanu Stehlíkovi Ph.D. za odborné vedení, rady, připomínky a jeho čas mi věnovaný na konzultacích, ale také za velmi příjemný a přátelský přístup. Dále bych chtěl poděkovat Pavlovi Strakovi za jeho příjemnou společnost v laboratoři a pomoc při provádění laboratorních zkoušek a také všem ostatním členům z Ústavu pozemních komunikací, s kterými jsem se při práci na mé diplomové práci setkával. Dále bych chtěl poděkovat firmě Kareta s.r.o. a jejímu jednatele Ing. Markovi Němcovi za zajímavý námět k diplomové práci. Na závěr bych chtěl poděkovat rodině a všem mým přátelům, kteří mi během mého studia byli oporou a podporovali mě i během náročnějších chvil.

# Obsah

1	ÚVOD .....	9
2	CÍLE PRÁCE .....	9
3	TEORETICKÁ ČÁST .....	10
3.1	Úvod do podkladních vrstev .....	10
3.1.1	Členění podkladních vrstev .....	11
3.2	Drobné drcené a těžené kamenivo .....	12
3.3	Vrstvy stmelené hydraulickým pojivem .....	13
3.4	Historie a zkušenosti z provádění stmelených vrstev .....	13
3.5	Požadavky norem na stmelené směsi a vrstvy .....	15
3.5.1	Požadavky na materiály směsi stmelené cementem .....	16
3.5.2	Požadavky na směsi a systém pro jejich klasifikaci .....	17
3.5.3	Další požadavky na stmelené vrstvy .....	21
4	PRAKTICKÁ ČÁST.....	22
4.1	Úvod do praktické části .....	22
4.2	Stanovení zrnitosti materiálu a porovnání s roční kontrolní zkouškou materiálu z lomu .....	23
4.3	Stanovení poměru jednotlivých frakcí u směsí D a E .....	26
4.4	Porovnání vlastností materiálu s požadavky norem na materiál směsi .....	27
4.5	Přibližný odhad receptur pomocí sedmidenní pevnosti v tlaku.....	30
4.6	Stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti. ....	30
4.7	Stanovení finálních receptur směsí a zhotovování vzorků.....	35
4.8	Stanovení mechanických vlastností směsí pomocí průkazních i experimentálních zkoušek.....	37
4.8.1	Zkouška pevnosti v tlaku .....	38
4.8.2	Zkouška pevnosti v příčném tahu .....	40
4.8.3	Odolnost proti mrazu a vodě .....	42
4.8.4	Experimentální stanovení modulu pružnosti $E_r$ směsí.....	46
4.9	Přehled mechanických vlastností směsí a jejich porovnání.....	55
4.10	Přehled a porovnání ostatních vlastností směsí.....	56
4.11	Finanční analýza ceny jednotlivých směsí .....	57



---

4.12	Posouzení možného uplatnění směsi v konstrukci vozovky.....	59
4.12.1	Konstrukce vozovky pro třídu dopravního zatížení IV.....	60
4.12.2	Konstrukce vozovky pro třídu dopravního zatížení V.....	61
4.12.3	Konstrukce vozovky pro třídu dopravního zatížení VI.....	63
4.12.4	Porovnání s reálně použitou konstrukcí.....	65
5	ZÁVĚR.....	66
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	69
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	71
	SEZNAM TABULEK.....	71
	SEZNAM GRAFŮ.....	72
	SEZNAM ROVNIC.....	72
	SEZNAM PŘÍLOH.....	73

# 1 ÚVOD

S rostoucím důrazem na ekologii a udržitelný rozvoj naší civilizace je zapotřebí myslet aktivně ve všech společenských odvětvích a pokoušet se najít co nejvíce šetrnou cestu hospodaření. Přírodní zdroje nejsou bezendné, a to si v poslední době naše společnost začíná uvědomovat čím dál tím víc. S udržitelným rozvojem úzce souvisí možnost využití co nejvíce lokálních zdrojů a také minimalizace možné zátěže prostředí dopravou. Ve stavebnictví se jedná především o zkoušení využití materiálů, které jsou v dané lokalitě k dispozici a jejich případných úprav a zlepšení. Velikou úlohu hraje i možnost a rozsah recyklace stavebně demoličního odpadu.

Bez dobré vize, vnitřní motivace k šetrnosti a ohleduplnosti bychom se nikdy nepustili do náročnějších činností a procesů. Mým cílem je vyzkoumat možnost využití konkrétního zbytkového materiálu z výroby kameniva v kamenolomu, který samotný nemá své uplatnění. Samozřejmě tato možnost musí být ekonomicky přijatelná, aby se dala uskutečnit.

## 2 CÍLE PRÁCE

### **Teoretická část**

Cílem teoretické části mé práce je shrnout základní informace ohledně použití stmelovaných podkladních vrstev v silničním inženýrství, popsat jejich historii, současné používání a zkušenosti z toho plynoucí. V poslední řadě pak shrnout nároky normativních podkladů na provádění stmelovaných vrstev cementem.

### **Praktická část**

Cílem praktické části je výzkum použití konkrétního materiálu z lomu firmy Kareta s.r.o. v Ondřejovicích jako materiálu pro směsi do podkladní vrstvy vozovek pozemních komunikací. Konkrétně se jedná o navržení vhodné receptury směsi, porovnání materiálu s předepsanými materiálovými požadavky a následné ověření směsí pomocí předepsaných průkazných zkoušek pro směsi stmelené hydraulickými pojivy. Dalším cílem mé práce je experimentálně stanovit modul pružnosti směsi, analyzovat a posoudit reálné možnosti použití z hlediska prováděcího a ekonomického.

## 3 TEORETICKÁ ČÁST

### 3.1 Úvod do podkladních vrstev

Podkladní vrstvou je vrstva pod krytem vozovky. Její úlohou je přenášení dopravního zatížení z krytu vozovky a to tak, aby podloží nebylo nadměrně zatíženo a nezdeformovalo se.

Jedno odborné rčení říká: „Každá silnice je natolik dobrá, nakolik jsou dobré její podkladní vrstvy.“ A s tímto rčením nezbývá než souhlasit. [1]

Podkladní vrstvy se provádějí nejčastěji nestmelené či případně stmelené hydraulickými pojivy. Pod krytovými vrstvami obvykle leží dvě různé podkladní vrstvy, označované jako horní a spodní podkladní vrstva (v angličtině označované jako base a subbase). Tyto vrstvy často bývají ve dvou rozdílných kvalitách, což vychází z požadavků na jejich únosnost a modul pružnosti. Vlastnosti vrstev narůstají se zvyšující se vzdáleností od podloží, což lze jednoduše vysvětlit. Pokud si podkladní vrstvu pomyslně rozdělíme na několik vrstev, tak první vrstva bude mít na povrchu o trochu lepší vlastnosti než podloží a dohromady s podložím bude vytvářet lepší podklad pro druhou vrstvu. Každá další vrstva znovu vytváří ještě lepší podloží pro vrstvu následující atd. Dochází též ke zlepšení zhutnitelnosti, protože hutnění je díky únosnějšímu podloží účinnější a díky tomu má vrstva lepší parametry. Je zbytečné dávat do spodních vrstev kvalitnější materiál, protože nárůst modulu deformace je omezen a stejného účinku se dosáhne i při použití méně kvalitních materiálů. Také proto se tyto vrstvy navrhují ve dvou různých kvalitativních úrovních – base, tj. horní vrstva vyšší kvality a subbase, tj. vrstva běžné kvality ležící na podloží. [2]

U vozovek s vyšším dopravním zatížením jsou obvykle tyto vrstvy kvalitativně rozlišeny, u vozovek s nižším dopravním zatížením bývají technologicky stejné. V případě nízkého dopravního zatížení mohou mít vozovky podkladní vrstvu jen jednu.

V rámci podkladních vrstev se též můžeme setkat s tzv. ochranou vrstvou. Ochranná vrstva se obvykle zhotovuje ze štěrkodrti (ŠD) a provádí se za účelem:

- Ochrany podloží před promrzáním (tzn. zvýšením tloušťky vrstev vozovky a zamezení pronikání účinku mrazu do podloží)
- Zabránění pronikání zeminy z podloží do podkladních vrstev (při nedodržení filtračních kritérií)
- Odvedení výronů nebo průsaků významného množství vody z podloží, když toto nelze vyřešit odvodněním zemního tělesa

Tato vrstva by se měla používat jen v odůvodněných případech. V současnosti se od této vrstvy upouští a v případě její potřeby funkci přebírá vhodně navržená spodní podkladní vrstva. [2]

### 3.1.1 Členění podkladních vrstev

Základní členění podkladních vrstev je na směsi stmelené, prolévané a nestmelené.

#### Vrstvy stmelené hydraulickým pojivem

Vrstvy stmelené mají relativně vysoký modul pružnosti, ale nízkou pevnost oproti cementovému betonu - tzn. že jsou křehké a s tím je spojené riziko tvorby reflexních trhlin. Při jejich výrobě se používá cement či jiná hydraulická pojiva. Jako kostra materiálu se často používají vedlejší produkty a méně hodnotné kamenivo. Výhodou je uplatnění druhotných surovin, nižší tloušťka konstrukce vozovky, nevýhodou je větší technologická náročnost výroby. Tyto směsi jsou detailněji popsány v kapitole 3.3. [2] [3] [4]

#### Prolévané vrstvy

Prolévané vrstvy mají vyplněnou hrubou kamennou kostru výplňovým materiálem do úplného či částečného zaplnění mezer převážně povrchové části vrstvy. Některé se dají též použít jako krytové obrusné i ložní vrstvy.

Rozlišují se následující druhy prolévaných vrstev:

- **Penetrační makadam PM** je vrstva z kamenné kostry, která se prolíje asfaltovým pojivem a zaplnění se povrchové mezery rozprostřením a následným zavibrováním výplňového kameniva
- **Štěrka částečně vyplněná cementovou maltou ŠCM** je vrstva z kamenné kostry materiálu frakce 32/63 částečně vyplněná cementovou maltou, která uzavírá povrch a s hloubkou vrstvy její množství klesá.
- **Asfaltocementový beton ACB** je vrstva z asfaltem obaleného kameniva s vysokou mezerovitostí (až 30%) a následným prolitím či zavibrováním cementové malty
- **Kamenivo zpevněné popílkovou suspenzí KAPS** je vrstva vytvořená z kamenné kostry hrubého kameniva 32/63, která se poté prolíje popílkovou suspenzí a následně se zavibruje. Popílková suspenze je směs z popílku, vody a pojiva, jako je např. cement či vápno. [2] [3] [5]

#### Nestmelené vrstvy

Nestmelené vrstvy neobsahují žádné pojivo a její vlastnosti závisí jen na vnitřním tření mezi jednotlivými zrny kameniva. Výhodou je dostupnost materiálu a jednoduchost provádění.

Rozlišují se následující druhy nestmelených směsí:

- **Mechanicky zpevněné kamenivo MZK** je nejkvalitnější nestmelenou vrstvou. Jedná se o směs drceného kameniva splňující přísné požadavky, která se vyrábí mícháním nejméně dvou frakcí a vlhčením na optimální vlhkost v míchacím centru. Optimální vlhkost umožňuje řádné zhutnění a dosažení nejvyšší únosnosti, ale také snižuje segregaci zrn materiálu.

- **Štěrkodrt' ŠD** je vrstva tvořená z drceného kameniva s ne tak přísnými požadavky na zrnitost, které splňují běžně dodávané směsi kameniva. Zpracovává se pouze rozprostřením, optimální vlhkost směsi není předepsána
- **Štěrkopísek ŠP** je nestmelená vrstva z těžného kameniva. Zrna jsou většinou hladká a zaoblená, vnitřní tření není dostatečné a jedná se o nejméně vhodnou vrstvu z hlediska provádění a únosnosti. Připouští se použití do spodních či ochranných podkladních vrstev
- **Mechanicky zpevněná zemina MZ** je vrstva nestmelené zeminy či jiných náhradních zrnitých materiálů. To umožňuje vyrobiť vrstvu z místních zdrojů, který není kamenivem, ale splňuje požadované vlastnosti
- **Vibrovaný štěrk** je vrstva tvořená kamennou kostrou z hrubého drceného kameniva frakce 32/63 s následně zavibrovanou jemnější vrstvou výplňového kameniva [1] [2] [3]

Všechny výše zmiňované vrstvy vychází z požadavků použití hrubších frakcí s maximálním zrnem 32 mm a více, uplatnění jemnějších frakcí není tak výrazné.

## 3.2 Drobné drcené a těžné kamenivo

Na území České republiky se nachází poměrně velké množství kvalitních ložisek přírodního materiálu. Z hlediska vzniku dělíme kamenivo na:

- Těžné kamenivo
- Těžné předrcené kamenivo
- Drcené kamenivo

Těžné kamenivo je kamenivem přírodním, vzniklé nejčastěji výsledkem říčního, ledovcového nebo eolického zvětrávání hornin. Je možné ho využít přímo bez rozrušování horninových masivů trhacími pracemi. Pokud je jeho zrnitost větší, než je potřebné, dochází k jeho drcení a tento materiál se nazývá jako těžné kamenivo předrcené. Podíl drcených zrn v takovém kamenivu je větší než 40 %.

K výrobě drceného kameniva je již třeba trhacích prací. Následně dochází k drcení materiálu zpravidla ve víceúrovňovém procesu za použití různých drtičů.

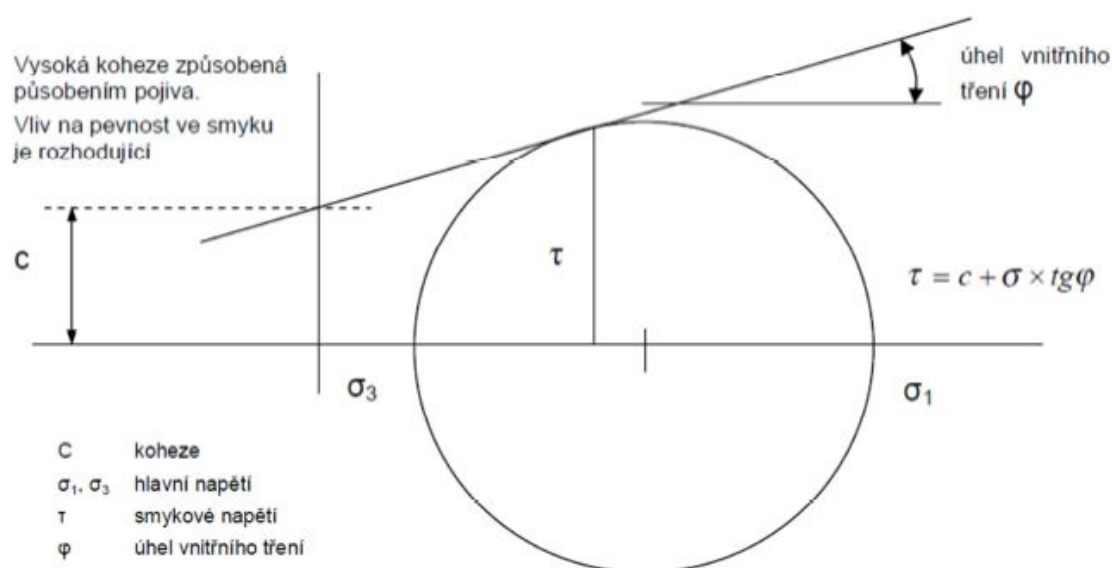
Kamenivo se po těžbě následně třídí a skládá do požadovaných frakcí. Největší využití má hrubé kamenivo. Drobné kamenivo a jemné částice jsou často i sekundárním produktem po drcení lomového i těžného kameniva a jejich využití je nejmenší. Jedná se hlavně o materiál frakce 0/4 a jemnější. Uplatnění tohoto materiálu je například jako plnivo v maltách, ale je spíše odpadem a v lomech se hromadí.

V podkladních vrstvách je v případě nestmelených vrstev klíčový požadavek na maximální velikost zrna větší než 32 mm, protože jejich přítomnost zvyšuje vnitřní úhel tření tím i tuhost těchto vrstev. Proto je jednou z možností se pokusit najít využití těchto jemnějších materiálů ve stmelených podkladních vrstvách, kde pevnost a tuhost materiálu

můžeme podpořit použitím vhodného typu a obsahu pojiva místo používání těchto větších zrn kameniva. [2] [6]

### 3.3 Vrstvy stmelené hydraulickým pojivem

U těchto vrstev není působení vnitřního tření ve směsi kameniva rozhodujícím činitelem pro zajištění únosnosti. Díky tomu lze tyto směsi vyrábět i z materiálů, na které nejsou tak přísné požadavky z hlediska zrnitosti a je možné akceptovat menší i větší velikost maximálního zrna  $D$ . Důraz se klade na obsah drobného kameniva, které je třeba pro efektivní působení pojiva a na zpracovatelnosti směsi. Tyto směsi je též možné vyrábět i z místních materiálů, které nejsou deklarované jako kamenivo, ale mají takové vlastnosti. [2]



Obr. 1 - Mohrova kružnice pro stmelené směsi [4]

### 3.4 Historie a zkušenosti z provádění stmelených vrstev

Původ vzniku stmelených vrstev (a též stabilizace zemin) pochází z impulzu vyřešit situaci, kdy při budování komunikací nebyl v blízkosti žádný kvalitní zdroj kameniva, a tudíž jediným východiskem bylo použít materiál k dispozici v dané lokalitě a přidáním vhodného pojiva vyrobit podkladní vrstvy. [2]

Velkou tradici má jejich používání v USA, kde si stabilizace zachovaly po celou historii i svůj původní význam. U nás měla stabilizace také dominantní úlohu, která ale pominula s příchodem MZK. [4]

Při vyhledávání dalších informací ohledně nahrazování kvalitních frakcí kameniva a využití méně kvalitních směsí kameniva či recyklovaného materiálu jsem zjistil, že tyto snahy probíhají po celém světě.

Například jedním z projektů tímto tématem se zabývajícím je práce provedená v Indii, kde byla zkoumána možnost využití odpadové prašné směsi po výrobě drceného

kameniva z lomu v betonech. Výsledkem je potvrzení použití tohoto materiálu jako náhradu kvalitního přírodního písku. [7]

Další výzkum z Boloňské university v Itálii provedený v roce 2017 se zabýval použitím stmelěných směsí s kamenivem tvořeným 100 % recyklátu. Výzkum se sestával z laboratorní části a poté i z testů in-situ. Výsledky ukazují, že tato možnost náhrady kvalitního materiálu je použitelná pro podkladní vrstvy s přijatelnou kvalitou. [8]

Dále jsem při vyhledávání informací narazil na plno prací, výzkumů a článků, většinou se ale jedná o nahrazení alternativním materiálem s hrubší zrnitostí. Informace o používání nestandardních jemných frakcí kameniva se mi bohužel nepodařilo dohledat.

Požadavky našich norem a doporučení na použití ve vozovce také vychází ze zkušeností provádění vozovek v České Republice. Norma ČSN 736124-1 stanovuje, od jaké třídy pevnosti je možné stmelěné směsi do podkladních vrstev používat. Dále doporučuje, jestli konkrétní směs používat jako spodní či horní vrstvu, a také určuje omezení použití pro třídy dopravního zatížení. Ze zkušeností z praxe vychází také TP 170, v kterém je uveden katalog vrstev vozovek. [9] [10]

Tab. 1 - Užití směsí stmelěných hydraulickými pojivy ve vozovce [9]

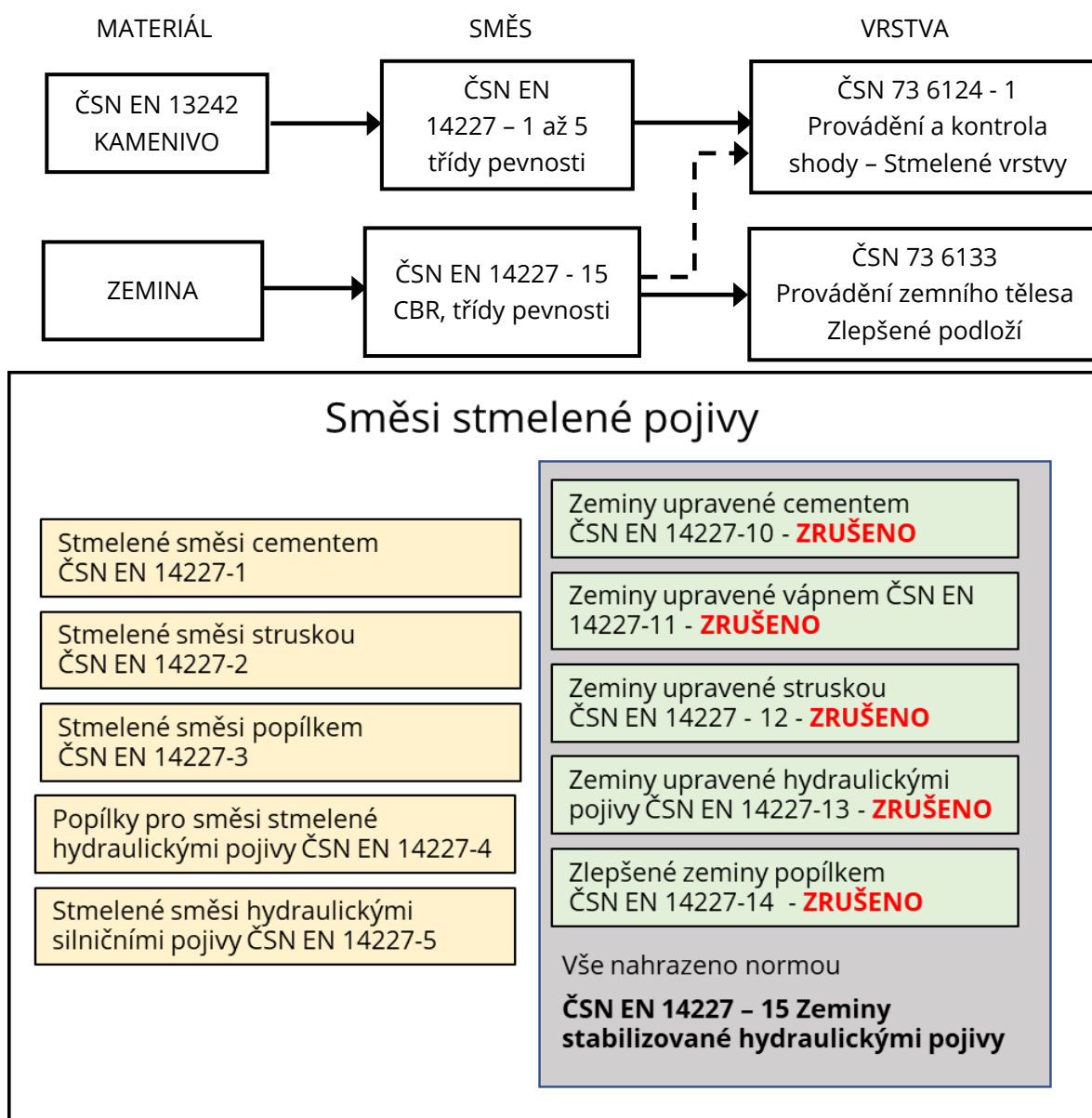
Třída pevnosti v tlaku $R_c$	Doporučená třída dopravního zatížení	
	Horní podkladní vrstva	Horní podkladní vrstva
$< C_{1,5/2}$	-	-
$C_{1,5/2}$	III, IV, V a VI	bez omezení
$C_{3/4}$	bez omezení	bez omezení
$C_{5/6}$	bez omezení	-
$C_{8/10}$	bez omezení	-
$C_{12/16}$	bez omezení	-
$C_{15/20}$ a vyšší	-	-

### 3.5 Požadavky norem na stmelené směsi a vrstvy

Stmelené podkladní vrstvy mají hodně společného i se stabilizovanými a zlepšenými zeminami, reakce pojiva s materiálem probíhají na stejných principech a defacto se jedná též o stmelené vrstvy.

Pro stmelené směsi a vrstvy jsou závazné různé normy, které se hodně prolínají, a tudíž je v normových požadavcích na tyto vrstvy lehce náročnější orientace. Proto pro snadnější orientaci níže uvádím shrnutí norem s požadavky na materiál, vlastnosti směsí a na jejich provádění. Od srpna roku 2016 platí jednotná norma pro úpravu a stabilizaci zemin, předchozí jednotlivé normy byly zrušeny. [11]

Požadavky na:



Obr. 2 - Přehled Struktury norem na stmelené vrstvy



Dle ČSN EN 14227-1 jsou směsi stmelené hydraulickým pojivem definovány jako směsi obsahující kamenivo s určenou zrnitostí a s jedním nebo více hydraulickými pojivy. Tyto směsi tuhnou s hydraulickou reakcí narůstá jejich pevnost. Jejich klasifikace je založená na mechanických vlastnostech – na pevnosti v prostém tlaku  $R_c$  či na pevnosti v příčném tahu  $R_{it}$ . Z důvodu relativně vysokého modulu pružnosti a současně nízké pevnosti je žádoucí, aby tyto vrstvy spolupůsobily s podkladem, který by měl omezovat jejich průhyb a umožnil uplatnění smykového napětí. [12]

Podle druhu použitého pojiva byl v České republice zaveden následující systém označování:

- SC – směsi z kameniva stmelené cementem
- SS – směsi z kameniva stmelené struskou
- SC – směsi z kameniva stmelené popílkem
- SC – směsi z kameniva stmelené hydraulickými silničními pojivy

Z hlediska kvalitativních vlastností se tyto směsi klasifikují podle pevnosti v prostém tlaku, která je zároveň i nejjednodušší. Pevnost se stanovuje na zkušebních tělesech, které se zhotovují ve válcových formách pomocí Proctorova modifikovaného zařízení. Zkouška se provádí po 28 dnech zrání zkušebních těles ve vlhkém prostředí. Pokud se použije i jiné pojivo, než je cement, tak lze dobu zrání prodloužit až na 60 dní. Třídy pevnosti se označují podle evropských norem písmenem C. [2]

### 3.5.1 Požadavky na materiály směsí stmelené cementem

Normy stanovují požadavky na materiály všech typů stmelených směsí. Jelikož moje praktická část se zabývá směsí stmelanou cementem, tak se v následujících podkapitolách budu věnovat jen jednotlivým materiálovým požadavkům pro tento druh směsí. Většinu požadavků stanovuje norma ČSN EN 14227-1, která případně odkazuje na další normativní podklady. Poslední verze této normy platí od prosince roku 2013 a je v některých požadavcích stručnější, proto zde uvádím i požadavky a poznatky z předešlé verze normy. [11]

#### 3.5.1.1 Požadavky na kamenivo

Kamenivo těchto směsí musí splňovat požadavky normy ČSN EN 13242. Nesmí obsahovat škodlivé jemné částice, které by mohly ovlivňovat tvrdnutí, trvanlivost nebo pevnost směsí. Kamenivo musí být:

- přírodní či umělé (těžené či drcené)
- recyklované
- kombinace obou možností.

### 3.5.1.2 Požadavky na pojivo

Cement musí splňovat požadavky normy EN 197-1. V případě použití hydraulického silničního pojiva musí splňovat požadavky ENV 13282. Předpokládá se použití cementu třídy 32,5; 42,5 či 52,5. [12]

### 3.5.1.3 Požadavky na příměsi

Při použití příměsi mleté granulované vysokopecní strusky musí příměs odpovídat požadavkům stanoveným v evropském technickém schválení či národních předpisech.

Pokud se má použít popílek, tak musí být součástí směsného cementu podle EN 197-1. Pokud směsi obsahují směsný cement, který je vyráběn na místě, tak musí splňovat požadavky EN 14227-3. [12]

### 3.5.1.4 Požadavky na záměsovou vodu

Záměsová voda použitá při výrobě směsí musí splňovat požadavky EN 1008. [12]

### 3.5.1.5 Požadavky na přísady

Veškeré přísady musí splňovat požadavky EN934-2. Pokud se použijí urychlovače či zpomalovače tuhnutí, tak musí být zohledněny při návrhu směsi. [12]

## 3.5.2 Požadavky na směsi a systém pro jejich klasifikaci

Systém pro klasifikaci směsí stmelěným cementem musí být předem definován a požadavky na čerstvé a ztvrdlé směsi musí být stanoveny z hlediska jejich obsahu cementu, obsahu vody a pevnosti v tlaku (nebo modulu pružnosti směsi ztvrdlé směsi). Požadavky na pevnost v tlaku a modul pružnosti musí být definovány společně s rozměry zkušební vzorku a s jeho metodami výroby, zrání a zkoušení. Obsah cementu a vody ve směsi se musí vztahovat k celkové hmotnosti suchého materiálu. [12]

### 3.5.2.1 Obsah pojiva

Nejnovejší verze normy obsah pojiva nespécifikuje. Podle předchozí verze normy musí být stanoven návrhem směsi či na základě praktických zkušeností. Návrhové postupy musí splňovat požadavky národních předpisů nebo jiných opatření v místě užití. Obsah pojiva by neměl být menší než minimum, které lze doporučit podle starší verze normy ČSN EN 14227-1.

Tab. 2 - Minimální obsah pojiva [12]

Maximální jmenovitá velikost zrna kameniva [mm]	Minimální obsah pojiva [% hmotnosti]
> 8,0 až 31,5	3
2,0 až 8,0	4
< 2,0	5

### 3.5.2.2 Vlhkost

Vlhkost směsi musí být stanovena návrhem směsi a/nebo na základě praktických zkušeností. Vlhkost směsi, která je potřebná k dostatečnému zhutnění vrstvy, závisí na zrnitosti kameniva, obsahu pojiva, klimatických podmínkách v místě stavby, dopravní vzdálenosti apod. [12]

### 3.5.2.3 Zrnitost

Zrnitost směsi se musí vypočítat ze zrnitosti kameniva a obsahu pojiva. Ke kontrole se použije zkušební postup dle EN 933-1.

Dále jsou směsi kameniva pro stmelené směsi jsou podle normy rozdělené na pět různých typů:

- Typ 1 – kameniva směsí frakce 0/31,5, 0/20 či 0/14, splňující požadavky zrnitosti při použití limitů G1 a G2
- Typ 2 – směs kameniva s požadavkem na hutnost se zrnitostí 0/20, 0/14 či 0/10
- Typ 3 – směs kameniva s maximální nominální velikostí D 6,3mm či menší s požadavkem na okamžitý index únosnosti a s požadavkem na zrnitost.

Tab. 3 - Požadavky na zrnitost kameniva – typ 3 [12]

síto	propad zrn	
	min	max
[mm]	[%]	[%]
2D	100	-
D	85	-
0,063	-	25

- Typ 4 – směs, kde dolní a horní mez zrnitosti deklaruje zhotovitel

- Typ 5 – směs o zrnitosti dle EN 933-1 splňující požadavky na zrnitost viz následující tabulka

Tab. 4 - Zrnitost směsí kameniva – typ 5 [12]

síto	propad zrn	
	min	max
[mm]	[%]	[%]
45	100	100
31,5	85	100
25	75	100
20	60	100
10	35	100
4	25	100
2	20	100
0,5	13	75
0,25	10	60
0,063	5	25

### 3.5.2.4 Klasifikace směsí stmelých cementem

Směsi stmelené cementem se klasifikují podle pevnostních charakteristik jedním ze dvou možných způsobů:

- **SYSTÉM I.** – charakteristickou pevností v tlaku  $R_{ck}$  zkušební tělesa
- **SYSTÉM II.** – charakteristickou pevností v prostém tahu  $R_{ik}$  či pevností v příčném tahu  $R_{itk}$  a modulem pružnosti  $E_r$

Pro stanovení pevnosti a modulu pružnosti se musí provést zkoušky na tělesech ve tvaru válce či krychle. Krychle musí mít délku hrany 100 mm nebo 150 mm, průměr válce musí být 100 mm, 150 mm nebo 160 mm. Válce se jmenovitým průměrem 100 mm nebo krychle o velikosti hrany 100 mm se mohou použít pouze pro směsi s horní velikostí síta, která není větší než 22 mm. [12]

Dále norma ČSN EN 14227-1 uvádí, že charakteristická pevnost v tlaku je stanovena průměrem minimálně ze 3 zkušebních těles. Pokud se jedna hodnota liší o více než  $\pm 20\%$  průměru, tak je vyloučena a průměr se spočítá ze zbývajících hodnot. [12] Tento požadavek je v rozporu s normou ČSN EN 13286-41 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelých hydraulickými pojivy, kde je princip stanovení charakteristické pevnosti v tlaku stejný, ale kritériem odchylky hodnot od průměru je  $\pm 15\%$ . [13]

V rámci mé praktické části diplomové práce jsem ke klasifikaci směsí použil systém I. Všechna zkušební tělesa se zkouší podle ČSN EN 13286-41 ve stáří nejméně 28 dní. Poté se stanoví charakteristická pevnost směsi dle tabulky 2 normy ČSN EN 14227-1.

Tab. 5 - Klasifikace podle pevnosti v tlaku [12]

Minimální hodnoty $R_c$ pro válcová zkušební tělesa pro štíhlostní poměr $2^a$ [MPa]	Minimální hodnoty $R_c$ pro válcová zkušební tělesa pro štíhlostní poměr $1^b$ a zkušební tělesa tvaru krychle [MPa]	Třída $R_c$
0,4	0,5	$C_{0,4/0,5}$
0,8	1	$C_{0,8/1}$
1,5	2	$C_{1,5/2}$
2,3	3	$C_{2,3/4}$
3	4	$C_{3/4}$
4	5	$C_{4/5}$
5	6	$C_{5/6}$
6	8	$C_{6/8}$
8	10	$C_{8/10}$
9	12	$C_{9/12}$
12	16	$C_{12/16}$
15	20	$C_{15/20}$
18	24	$C_{18/24}$
21	28	$C_{21/28}$
24	32	$C_{24/32}$
27	36	$C_{27/36}$
30	40	$C_{30/40}$
33	44	$C_{33/44}$
36	48	$C_{36/48}$
Deklarovaná hodnota	Deklarovaná hodnota	$C_{DV}$

Klasifikaci směsí též doplňuje norma ČSN 736124-1. Ta nedoporučuje používat směsi pevnostní třídy  $C_{0,4/0,5}$  a  $C_{0,8/1}$  do podkladních vrstev a doporučuje používat pevnostní třídy  $C_{15/20}$  a vyšší jen výjimečně. Doporučené třídy pevností uvádím v následující tabulce.

Tab. 6 - Třídy pevnosti směsí doporučované ČSN 736124-1 [9]

Minimální hodnoty $R_c$ pro válcová zkušební tělesa pro štíhlostní poměr $2^a$ [MPa]	Minimální hodnoty $R_c$ pro válcová zkušební tělesa pro štíhlostní poměr $1^b$ a zkušební tělesa tvaru krychle [MPa]	Třída $R_c$
1,5	2	$C_{1,5/2}$
3	4	$C_{3/4}$
5	6	$C_{5/6}$
8	10	$C_{8/10}$
12	16	$C_{12/16}$

### 3.5.3 Další požadavky na stmelené vrstvy

Další z norem doplňující požadavky na stmelené směsi je norma ČSN 73 6124-1 Stavba vozovek – Vrstvy ze směsí stmelených hydraulickými pojivy – Část 1: Provádění a kontrola shody.

V této normě jsou doplněny požadavky na použité materiály (např. lehce odlišné požadavky na zrnitost kameniva), klasifikaci stmelených směsí, dále jsou zde předepsané způsoby provádění prací a je zde popsáno hodnocení shody.

Pro mou práci je nejdůležitější právě část ohledně hodnocení shody směsí, konkrétně předpis pro počáteční zkoušky typu (ITT).

Dle ČSN 73 6124-1 tab.7 se požadují pro směsi stmelené cementem tyto průkazní zkoušky:

- Zrnitost (Článek 6.2.2)
- Laboratorní srovnávací objemová hmotnost a optimální vlhkost (Článek 6.2.3)
- Minimální pevnost v tlaku dle zvolené třídy pevnosti (Článek 6.2.6, tab.6)
- Minimální pevnost v příčném tahu (Článek 6.2.6)
- Odolnost proti mrazu a vodě (Článek 6.2.7) [9]

## 4 PRAKTICKÁ ČÁST

### 4.1 Úvod do praktické části

Cílem praktické části je výzkum použití konkrétního materiálu z lomu firmy Kareta s.r.o. v Ondřejovicích ve Zlatých Horách do stmelené směsi pro podkladní vrstvu vozovky pozemní komunikace. Jedná se o zbytkovou frakci při výrobě kameniva v lomu, která nemá své stabilní využití.

Prvním úkolem bylo vymyslet konkrétní podobu použití tohoto materiálu. Bylo třeba stanovit přesnou podobu zkoumaného materiálu a jakým směrem budeme výzkum směřovat. Tak započalo více kolové jednání se zástupcem firmy.

Podle původních informací se jednalo o materiál hrubší frakce kameniva 0/4, po upřesnění informací se jedná o kamenivo frakce 0/2.

Hlavním krokem této fáze práce bylo definování všech vstupních materiálů viz následující diagram.



Obr. 3 - Diagram fází návrhu směsi

Při stanovení kostry směsi přicházely do úvahy tyto materiály a jejich různé kombinace:

- Použití konkrétní frakce kameniva z lomu či jejich vzájemné směsi: 0/32, 0/16, 0/8, 0/4 či 0/2
- Použití recyklátu k příměsi ke kamenivu:
  - Betonový recyklát
  - Asfaltový recyklát
  - Cihlový recyklát
  - Směsný recyklát

Dále byl třeba určit druh pojiva. Do úvahy byly možné následující varianty:

- Cement různých druhů a pevnostních tříd
  - Portlandský 32,5 N či R, 42,5 N či R, Portlandský směsný apod.
- Další příměsi pojiva
  - Popílek
  - Struska

Po těchto jednáních byly stanoveny jednotlivé materiály k použití.

Primární materiál výzkumu je zbytková frakce drobného kameniva 0/2, dále je možné částečně vylepšit směs pomocí použití hrubší frakce kameniva – konkrétně frakce 0/16 a 0/32. Jako pojivo je stanoven Portlandský cement třídy pevnosti 32,5.

Výstupem mého výzkumu je navržení a porovnání celkem pěti variant receptur.

Poslední přípravnou fází práce bylo určení požadovaného množství materiálu. Po stanovení potřebných zkoušek a počtu jednotlivých zkušebních vzorků jsem stanovil přibližné potřebné množství jednotlivých materiálů (0/2 – 200 kg, 0/16 – 10 kg, 0/32 – 15 kg, cement - 15 kg).

Před zhotovením zkoušek byl vždy souhrnný vzorek potřebného materiálu homogenizován.

## 4.2 Stanovení zrnitosti materiálu a porovnání s roční kontrolní zkouškou materiálu z lomu

Dalším následujícím krokem mé práce bylo stanovení zrnitosti materiálu, kdy jsem sestavil křivky zrnitosti používaných frakcí kameniva. Konkrétně šlo o frakce 0/2, 0/16 a 0/32.

Provádění stanovuje norma ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

### Podstata zkoušky

Zkouška se skládá z roztřídění a oddělení jednotlivých zrn materiálu pomocí sady zkušebních sít do předepsaných frakcí se sestupnou velikostí otvorů. Velikosti otvorů sít jsou vybírány dle druhu zkoušeného materiálu a požadované přesnosti zkoušky. Lze použít dvě metody této zkoušky. První je metoda praní a prosévání za sucha. Alternativou je jen prosévání za sucha, ale tato metoda se může jen použít pro kamenivo, které nemá jemnější částice ulpívající na větších zrnech materiálu. V případě pochybností se použije metoda praní a prosévání za sucha. Kvůli jemným frakcím zkoumaného materiálu a jejich procentuálním rozdělení jsem zvolil metodu praní a prosévání za sucha. [14]

### Zařízení a pomůcky

Zkušební síta s otvory uvedenými v EN 933-2, pevně lícující víko a dno sady sít, sušárna s automatickým udržováním a kontrolou teploty a s nucenou cirkulací vzduchu, váhy s přesností  $\pm 0,1\%$  hmotnosti vzorku, nádoby na manipulaci s materiálem, kartáče, štětce, špachtle.



## Postup

Z navážek již vysušených materiálů byly vybrány referenční vzorky pro každou frakci kameniva. Pro frakci 0/2 byla zvolena hmotnost referenčních vzorků 400 g, pro frakci 0/16 500 g a pro frakci 0/32 500 g. Poté byla vždy zkušební navážka přidána do nádoby s vodou, důkladně promíchána a poté se obsah této nádoby vyléval na horní síto. Praní probíhalo do té doby, než začala vytékat čirá voda. Následně se jednotlivá síta vysušila v sušárně do ustálené hmotnosti. Poté bylo každé síto postupně ručně proseto a byla zjištěna hmotnost jednotlivých zůstatků materiálu na sítích s přesností 0,1 g. Tento postup byl opakován pro všechny referenční vzorky jednotlivých frakcí.



*Obr. 4 - Ruční prosévání a vážení zůstatku materiálu na sítě*



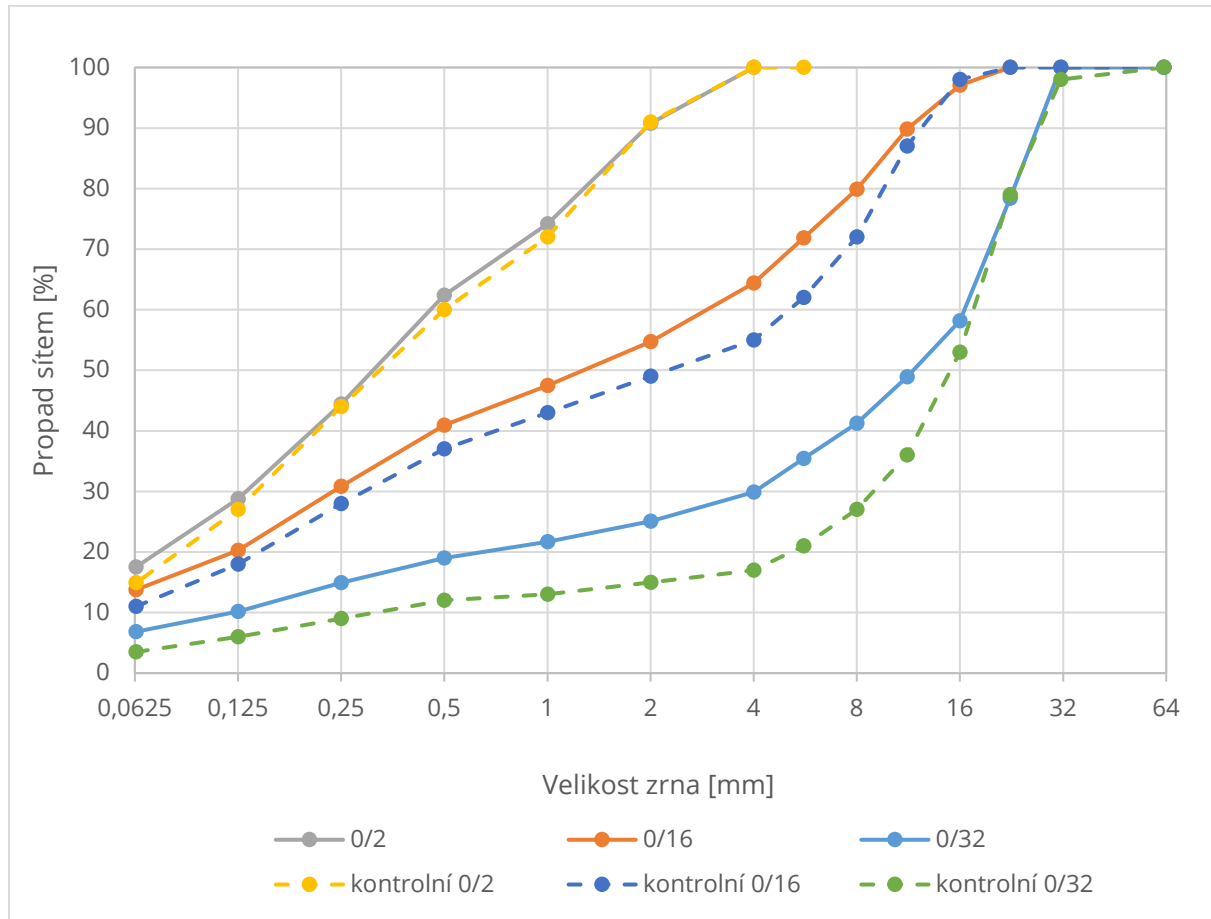
*Obr. 5 - Materiál zachycený na jednotlivých sítích*

## Vyhodnocení

Využití nestandardního drobného kameniva  
do stmelených směsí podkladních vrstev vozovek

Z naměřených hodnot byly vyhodnoceny křivky zrnitosti a byly porovnány s roční kontrolní zkouškou materiálu z lomu. Výsledky se vždy lehce lišily, a to větším obsahem jemnějších frakcí v mých síťových rozborech.

Graf 1 - Porovnání křivek zrnitosti s výsledky ročních kontrolních zkoušek



Detailní graf viz Příloha A.

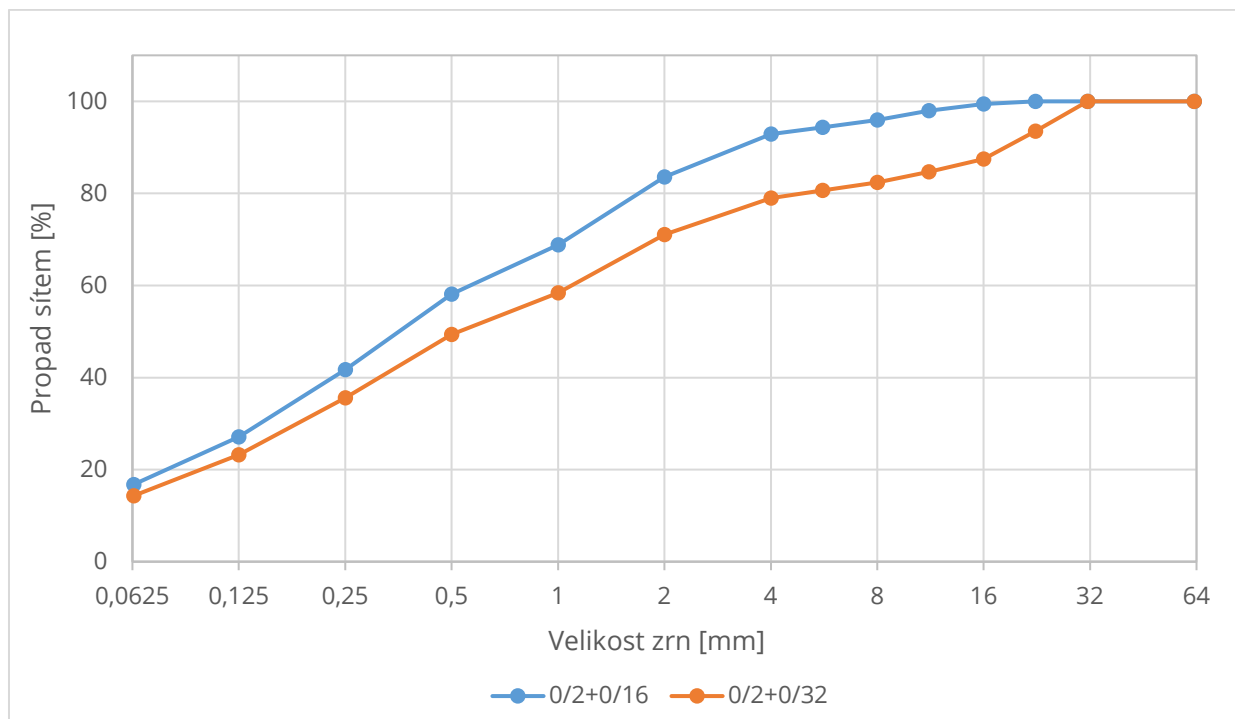
## 4.3 Stanovení poměru jednotlivých frakcí u směsí D a E

Po stanovení křivek zrnitosti jednotlivých frakcí materiálu jsem se věnoval stanovením ideálního vzájemného poměru u směsí D (směs frakce 0/2 a frakce 0/16) a E (směs frakce 0/2 a frakce 0/32). Cílem je zjistit, jak může přítomnost větších zrn kameniva ovlivnit výsledné mechanické vlastnosti směsí. Důraz stále zůstal v primárním využití materiálu frakce 0/2. Poměr jednotlivých směsí byl řešen iteračním postupem s cílem vytvoření plynulé křivky zrnitosti.

Výsledný poměr byl stanoven:

- směs D - 80% frakce 0/2 a 20% frakce 0/16
- směs E - 70% frakce 0/2 a 30% frakce 0/32

Graf 2 - Křivky zrnitosti směsí frakcí



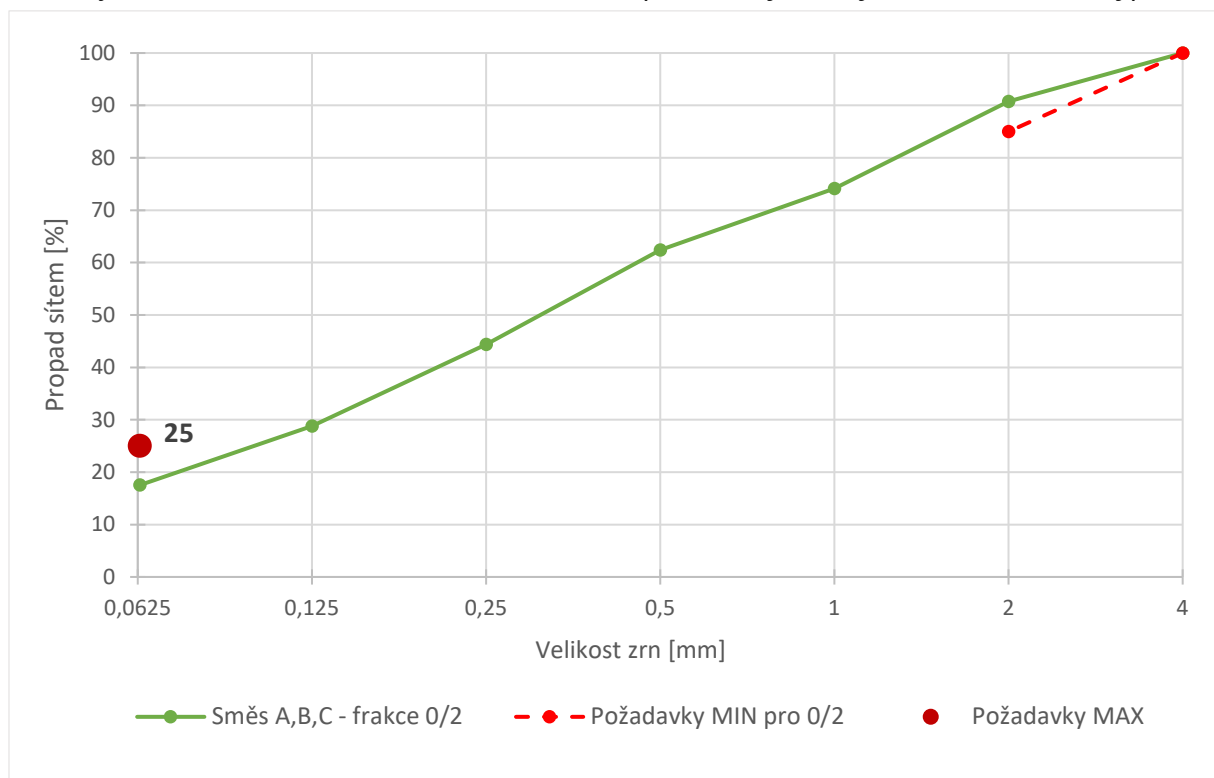
Detailní protokol viz Příloha A

## 4.4 Porovnání vlastností materiálu s požadavky norem na materiál směsí

Požadavky na zrnitost kameniva do stmelových směsí stanovuje norma ČSN EN 14227-1 a směsi rozděljuje na 5 typů. Jednotlivé požadavky jsou uvedené v kapitole 3.5.1.1. Mnou použitý materiál není typem 1 a 2, jedná se o jiné typy směsí s výrazně většími maximálními zrny. Proto ani mnou použité materiály jejich kritéria nesplňují.

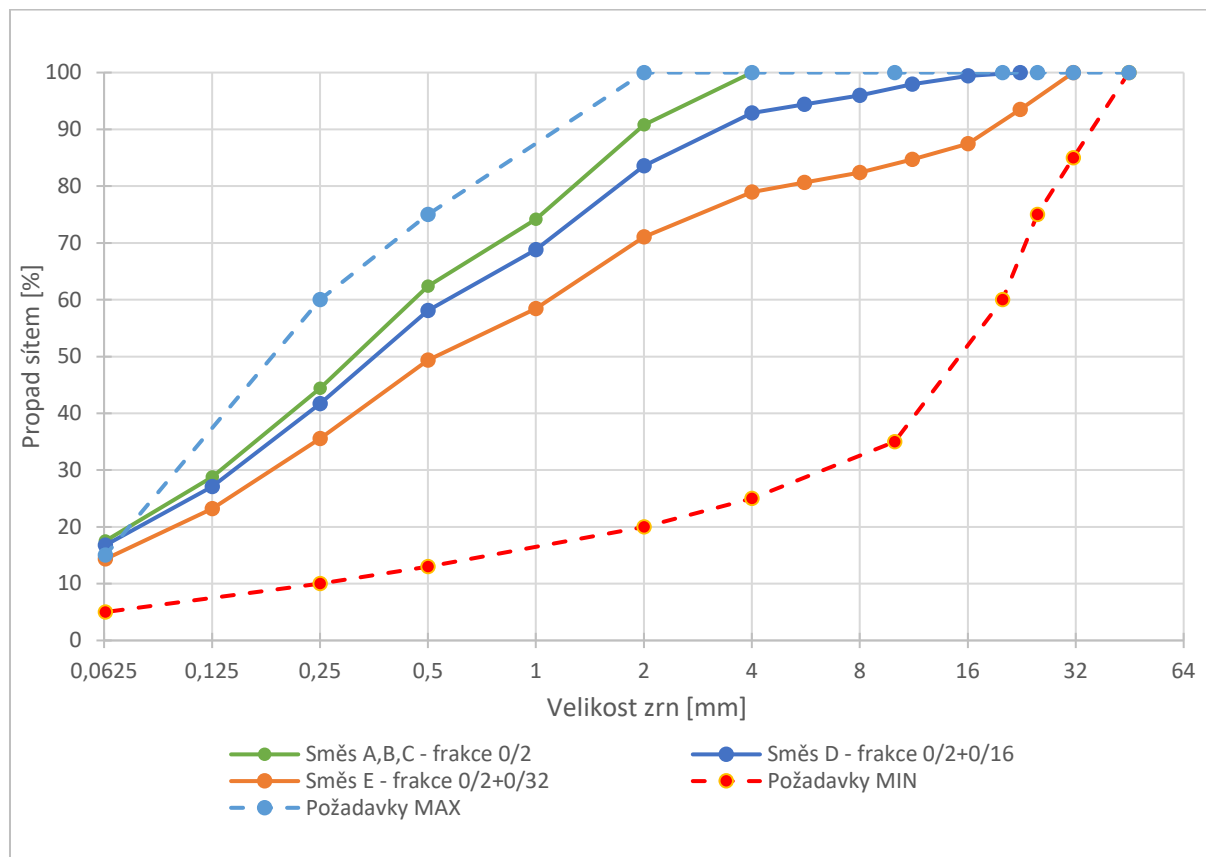
Všechny směsi A, B a C se dají zařadit do typu kameniva č. 3 a požadavky splňují. Směsi D a E obsahují větší maximální zrna a zařadit je do této třídy kameniva nelze.

Graf 3 - Porovnání zrnitosti směsí kameniva s požadavky normy ČSN EN 14227-1- typ 3



Všechny směsi se dají posoudit podle požadavků typu 5, pro směsi A, B a C to ale není tak směrodatné, protože neobsahují tak velká maximální zrna kameniva. Směsi D a E již větší maximální zrna obsahují.

Graf 4 - Porovnání zrnitosti směsí kameniva s požadavky normy ČSN EN 14227-1 - typ 5



Detailnější graf viz Příloha A.

Kamenivo pro směs E požadavky splňuje úplně, ostatní směsi nesplňují pouze limitní hodnotu 15 % podílu jemných částic, a to nijak zásadním rozdílem. Ve zbylém oboru zrnitosti vyhoví. U směsí A, B a C překročí maximální hodnotu o 2,5 %, hodnota podílu jemných částic ve směsi je 17,5 %. Směs D překračuje maximální hodnotu o 1,8 %, hodnota podílu jemných částic ve směsi je 16,8 %. Směs E splňuje maximální hodnotu s rezervou 0,7 %, hodnota podílu jemných částic ve směsi je 14,3 %.

Dále požadavky na kamenivo stanovuje norma ČSN 73 6124-1 Stavba vozovek – Vrstvy ze směsí stmelovaných hydraulickými pojivy – Část 1: Provádění a kontrola shody. Konkrétně se jedná o požadavky na zrnitost, které jsou různé pro následující rozdělení směsí na skupiny:

- Směsi třídy pevnosti  $C_{1,5/2}$  a  $C_{3/4}$
- Směsi třídy pevnosti  $C_{5/6}$  a vyšší pro směsi kameniva 0/32

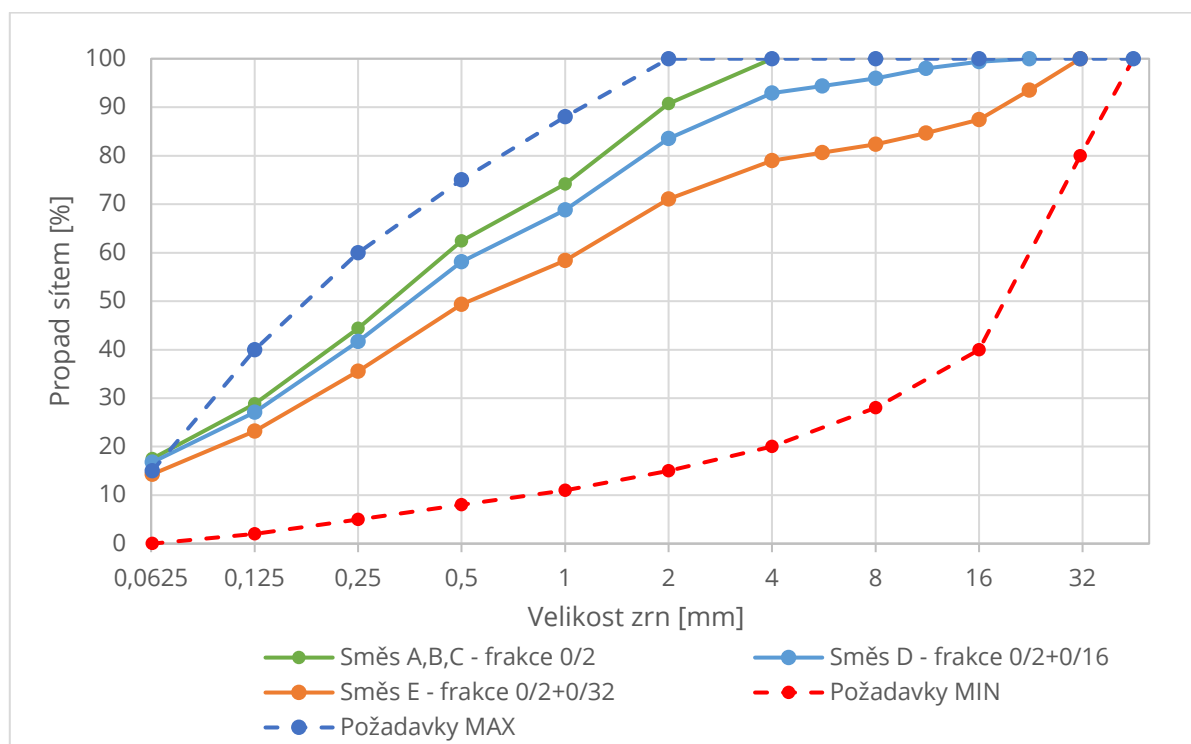
Dále je v poznámce pod čarou napsáno, že minimální hodnoty propadu na sítích 0,063, 0,125 a 0,250 nejsou závazné pro třídy  $C_{5/6}$  a vyšší.

Mnou zkoumané směsi spadají podle výsledků zkoušek pevnosti v tlaku (viz. Kap. 4.8.1) do první skupiny. Detailně se jedná o tyto požadavky na zrnitost viz tabulka níže, které jsou lehce odlišné oproti požadavkům ČSN EN 14227-1 pro typ směsi kameniva č.5.

Tab. 7 - Zrnitost kameniva pro třídu pevnosti  $C_{1,5/2}$  a  $C_{3/4}$  podle ČSN 73 6124-1 [9]

síto	propad zrn	
	min	max
[mm]	[%]	[%]
45	100	100
31,5	80	100
16	40	100
8	28	100
4	20	100
2	15	100
1	11	88
0,5	8	75
0,25	5	60
0,125	2	40
0,063	0	15

Graf 5 - Křivky zrnitosti směsí a porovnání s požadavky



Detailnější graf viz Příloha A.

Použité směsi kameniva částečně splňují požadavky na zrnitost dle normy ČSN 73 6124-1, rozhodujícím je znovu limitní hodnota jemných částic, která je opět 15 %. Porovnání je tedy totožné. Kamenivo pro směs E požadavky splňuje úplně, ostatní směsi nesplňují pouze limitní hodnotu 15 % podílu jemných částic, a to nijak zásadním rozdílem. Ve zbylém oboru zrnitosti vyhoví. U směsí A, B a C překročí maximální hodnotu o 2,5 %, hodnota podílu jemných částic ve směsi je 17,5 %. Směs D překračuje maximální hodnotu o 1,8 %, hodnota podílu jemných částic ve směsi je 16,8 %. Směs E splňuje maximální hodnotu s rezervou 0,7 %, hodnota podílu jemných částic ve směsi je 14,3 %.

## 4.5 Přibližný odhad receptur pomocí sedmidenní pevnosti v tlaku

Z důvodu pracnosti a časové náročnosti výroby zkušebních těles a vyhodnocení mechanických vlastností jednotlivých směsí a z důvodu přesnějšího a směrodatnějšího výsledku výzkumu jsem po konzultaci s vedoucím práce navrhl zkušební směsi a odhadl dávkování příslušného pojiva.

Konkrétně jsem stanovil tři receptury o obsahu cementu 5, 7 a 9 procent a následně jsem zhotovil tři zkušební vzorky z materiálu frakce 0/2. Na těchto vzorcích jsem poté provedl zkoušku pevnosti v tlaku po sedmi dnech. Z výsledků jsem poté vycházel u stanovení finálních receptur směsí.

## 4.6 Stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti.

V rámci této zkoušky jsem stanovil srovnávací objemovou hmotnost a optimální vlhkost dle Proctorovy zkoušky modifikované pro jednotlivé směsi frakcí materiálů již s příměsí cementu. Konkrétně šlo o tyto frakce:

- 0/2 + 6 % CEM
- 0/2 a 0/16 + 6 % CEM
- 0/32 + 6 % CEM

Provádění stanovuje norma ČSN EN 13286-2 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Proctorova zkouška.

### Podstata zkoušky

Podstatou této zkoušky je zjistit maximální objemovou hmotnost suchého materiálu ( $\rho_d$ ) při optimální vlhkosti materiálu ( $w_{opt}$ ). Reprezentativní vzorek materiálu se rozdělí na 5 či více zkušebních vzorků, navážka jednotlivého vzorku závisí na zrnitosti materiálu, resp. na jeho procentuálním propadem zkušebními síty. Každá navážka se navlhčí s odlišným množstvím vody. Poté je materiál hutněn pomocí úderů pěstem vyvolávající účinek specifikované energie, která je závislá na typu zkoušky – Proctorova zkouška s energií přibližně  $0,6 \text{ MJ/m}^3$  či Proctorova zkouška modifikovaná s energií

přibližně  $2,7 \text{ MJ/m}^3$ . Následně se z každého zhutněného vzorku určí suchá objemová hmotnost při dané vlhkosti a z naměřených hodnot se sestaví graf, ze kterého stanovíme optimální vlhkost při maximální suché objemové hmotnosti. Výsledkem by měla být křivka s parabolickým tvarem. Rozsah vlhkostí jednotlivých vzorků materiálu musí být takový, že nejméně dvě hodnoty musí ležet v obou směrech od stanovené optimální vlhkosti. Pokud výsledný graf tento předpoklad nesplňuje, musí se provést zkouška znovu s jinak nastavenými vlhkostmi jednotlivých vzorků. [15]

### Zařízení a pomůcky

Proctorovův moždíř A (výška  $h_1 = 120 \text{ mm}$ , průměr formy  $d_1 = 100 \text{ mm}$ ), hutnicí pěch B (hmotnost  $m_P = 4,5 \text{ kg}$ , průměr úderníku pěchu  $d_2 = 50 \text{ mm}$ ), hutnicí zařízení (výška dopadu pěchu  $h_p = 457 \text{ mm}$ ), váhy s přesností vážení  $\pm 0,1\%$  hmotnosti vzorku, mísící nádoba, odměrný válec, sušárna s automatickým udržováním teploty a cirkulací vzduchu, špachtle, urovnávací pravítko



Obr. 6 - Příprava směsi pro Proctorovu zkoušku





Obr. 7 - Vzorky vlhkosti z Proctorovy zkoušky

### Postup

K této zkoušce bylo použito alternativní zařízení pro Proctorovu zkoušku modifikovanou. Proto prvním krokem zkoušky byl stanovený potřebný počet úderů přepočtený podle požadované specifické energie  $E$  k hutnění. Počet vrstev v hutnicím moždíři  $n_v = 3$ .

#### Rovnice č. 1 - Specifická energie Proctorovy zkoušky

$$E = \frac{\text{hmotnost p\text{e}chu} \times \text{v\text{y}ška dopadu} \times \text{počet úderů na vrstvu} \times \text{počet vrstev} \times \text{gravitace}}{\text{objem moždíře}}$$

$$E = \frac{m_p \times h_p \times n_v \times i_u \times g}{V} \rightarrow i_u = \frac{E \times V}{m_p \times h_p \times n_v \times g} = \frac{2,7 \times 50^2 \times \pi \times 120}{4,5 \times 457 \times 3 \times 9,18} = 44,93 \cong 45$$

Před začátkem zkoušky byla zjištěna hmotnost moždíře se základní deskou  $m_1$ . Vysušený materiál byl rozdělen na 5 navážek o hmotnosti 2,5kg. Každá část byla promíchána s 6 % cementu a různým množstvím vody (hmotnostní poměr). Poté byl materiál vsypáván do moždíře a hutněn, hutnění probíhalo po 3 vrstvách 45 úderů. Po skončení hutnění byl materiál zarovnán s horním okrajem formy, byla zjištěna hmotnost moždíře, základní desky a materiálu  $m_2$ . Následovalo rozrušení zhotoveného tělesa, odebrání dvou vzorků materiálu ze středu tělesa pro stanovení vlhkosti materiálu konkrétního tělesa. Tento postup byl aplikován pro všechny tělesa zkoušené směsi.

## Vyhodnocení

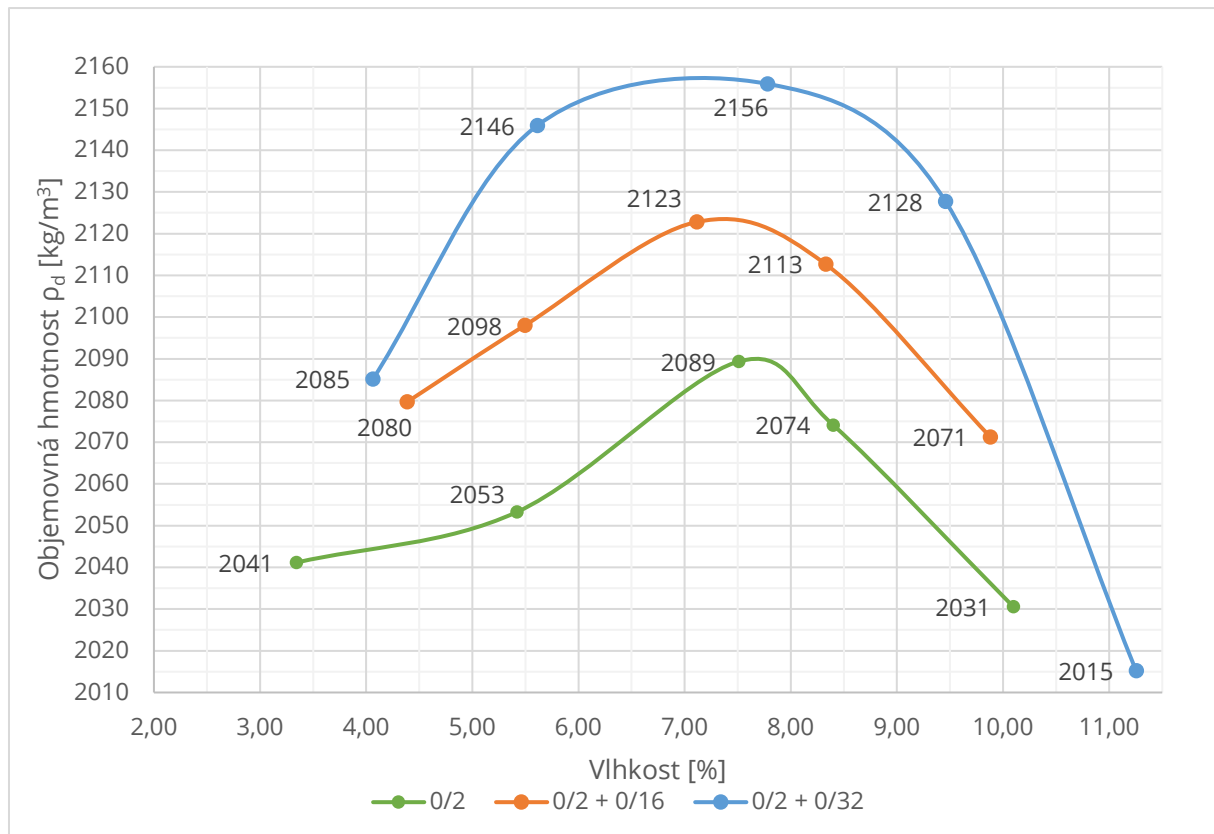
Z naměřených hodnot byly vypočítány objemové hmotnosti ( $\rho$ ), suché objemové hmotnosti ( $\rho_d$ ) a vlhkosti ( $w$ ). Následně byla stanovena optimální vlhkost směsi ( $w_{opt}$ ) a maximální objemová hmotnost suché směsi ( $\rho_d$ ). Zajímavým a též důležitým výstupem je zjištění přibližného úbytku množství vody po smíšení materiálu s cementem, který je způsoben hydratací cementu při kontaktu s vlhkostí – nasákavost materiálu podle výsledků ročních zkoušek je zanedbatelná. Hodnotu úbytku vlhkosti jsem stanovil rozdílem vlhkosti materiálu před hutněním a po hutnění vzorků.

Výsledné hodnoty jsou následující:

- Pro směs frakce 0/2 s 6 % cementu:
  - $w_{opt} = 7,5 \%$
  - $\rho_d = 2090 \text{ kg/m}^3$
  - přibližný úbytek vlhkosti při dosažení optimální vlhkosti po zhutnění  
 $\Delta w = 1 \%$
- Pro směs frakce 0/2 a frakce 0/16 s 6 % cementu:
  - $w_{opt} = 7,4 \%$
  - $\rho_d = 2125 \text{ kg/m}^3$
  - přibližný úbytek vlhkosti při dosažení optimální vlhkosti po zhutnění  
 $\Delta w = 1,3 \%$
- Pro směs frakce 0/2 a frakce 0/32 s 6 % cementu:
  - $w_{opt} = 7,2 \%$
  - $\rho_d = 2155 \text{ kg/m}^3$
  - přibližný úbytek vlhkosti při dosažení optimální vlhkosti po zhutnění  
 $\Delta w = 0,9 \%$

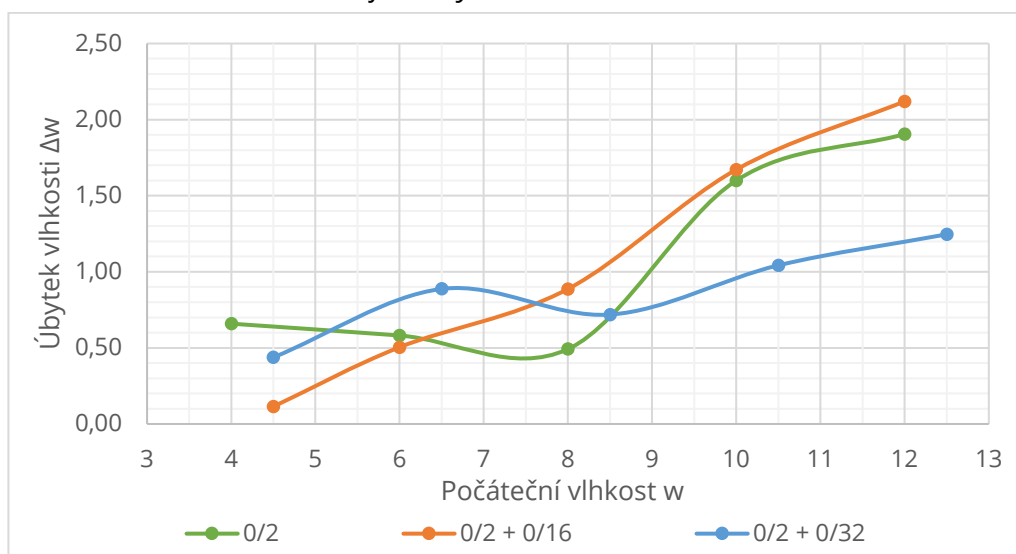
Přehledné grafy závislosti vlhkosti a objemové hmotnosti a úbytků vlhkosti směsí při zhotovování níže, protokoly jednotlivých zkoušek směsí s detailními grafy viz Příloha B.

Graf 6 - Závislost vlhkosti a objemové hmotnosti  $\rho_d$



Optimální vlhkost všech směsí je v podobných hodnotách. Přidáním zrn větší velikosti dochází dle očekávání k nárůstu suché objemové vlhkosti a také se zvětšuje rozpětí vlhkosti, při kterém se jí dá dosáhnout. Pro směs kameniva 0/2 je tento rozsah 7 až 8 %, pro směs 0/2 + 0/16 je rozsah 6,5 až 8 % a pro směs 0/2 + 0/32 je rozsah vlhkostí 6 až 8 %.

Graf 7- Úbytek vlhkostí záměsi



## 4.7 Stanovení finálních receptur směsí a zhotovování vzorků

Díky provedení všech předchozích kroků jsem byl schopný navrhnout finální receptury jednotlivých směsí. Obsah cementu jsem navrhl podle výsledků sedmidenní pevnosti na vybraných vzorcích, poměr frakcí kameniva pro dvě směsné receptury podle plynulé křivky zrnitosti a optimální vlhkosti záměsi podle výsledků Proctorovy zkoušky, ale také podle zkušeností získané prací s jednotlivými materiály.

Výsledné receptury jsou následující:

- **Směs A – kamenivo frakce 0/2 + 4 % cementu**
- **Směs B – kamenivo frakce 0/2 + 6 % cementu**
- **Směs C – kamenivo frakce 0/2 + 8 % cementu**
- **Směs D – směs kameniva frakce 0/2 (80%) a frakce 0/16 (20%) + 6 % cementu**
- **Směs E – směs kameniva frakce 0/2 (70%) a frakce 0/16 (30%) + 6 % cementu**

Celkem se jednalo o zhotovení pěti sad o šestnácti vzorcích, celkový počet byl tedy 80 kusů. Průměrná doba zhotovování jednoho tělesa mi trvala jednu hodinu. Při práci se mi velmi osvědčilo vytvoření přehledu a následného harmonogramu vzorků, bez kterého by přesná práce na tolika vzorcích byla velmi obtížná až skoro nemožná.

Všechna tělesa byla zhotovena pomocí hutnění Proctorovým pěchem. [16]

Poté byly vzorky umístěné na dobu zrání (28 dní) do zrací komory s konstantní vlhkostí a teplotou vzduchu.



Obr. 8 - Příprava směsi materiálu při výrobě zkušebních těles

Z hodnot Proctorovy zkoušky a zkušeností s konzistencí směsí při hutnění z předchozích zkoušek a kroků návrhu jsem stanovil finální vlhkost záměsi v následných návaznostech. Prvně jsem podle výsledků úbytku vlhkostí z Proctorovy zkoušky stanovil rozsah optimální vlhkosti záměsi tak, že po úbytku vlhkosti hydratací cementu dosáhneme vlhkosti směsi vedoucí k nejvyšší zhutnitelnosti.

- Pro směs kameniva frakce 0/2 je optimální rozsah vlhkosti 8,5 až 9,5 %
- Pro směs kameniva frakce 0/2 a 0/16 je optimální rozsah vlhkosti 8,5 až 9,5 %
- Pro směs kameniva frakce 0/2 a 0/32 je optimální rozsah vlhkosti 8 až 9 %

Poté jsem stanovil optimální vlhkost záměsi jednotlivých směsí:

- Pro směs A je optimální vlhkost záměsi 9 %
- Pro směs B je optimální vlhkost záměsi 9,5 %
- Pro směs C je optimální vlhkost záměsi 9,5 %
- Pro směs D je optimální vlhkost záměsi 9,5 %
- Pro směs E je optimální vlhkost záměsi 9 %

Ze zkušeností mohu říci, že se mi v průběhu zhotovování vzorků osvědčilo pohybovat se na této horní hranici rozsahu optimální vlhkosti směsi před hutněním, směs se poté ideálně zpracovávala.



*Obr. 9 - Příprava záměsi při výrobě zkušebních těles*



Obr. 10 - Označování zhotoveného zkušebního vzorku

## 4.8 Stanovení mechanických vlastností směsí pomocí průkazních i experimentálních zkoušek

V této kapitole se věnuji zkoušení mechanických vlastností jednotlivých směsí. Požadavky na jednotlivé průkazní zkoušky (také i ITT) stanovuje norma ČSN 73 6124-1 Stavba vozovek – Vrstvy ze směsí stmelených hydraulickými pojivy – Část 1: Provádění a kontrola shody.

Pro směsi stmelené cementem se jedná o tyto zkoušky mechanických vlastností (dle tab.7 výše zmíněné normy):

- Zkouška pevnosti v tlaku
- Zkouška pevnosti v příčném tahu
- Odolnost proti mrazu a vodě

Dále jsem experimentálně stanovil modul pružnosti  $E_r$  směsí. Detailnější popis jednotlivých zkoušek a další informace uvádím v podkapitolách níže. Všechny výsledky pak shrnuji a komentuji v kap. 4.9.

## 4.8.1 Zkouška pevnosti v tlaku

Provádění stanovuje norma ČSN EN 13286-41 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy.

### Podstata zkoušky

Podstatou této zkoušky je vystavit zkušební těleso tlakové síle až do porušení. Zatížení konstantně narůstá, maximální síla se zaznamená a vypočítá se pevnost v tlaku zkušebního tělesa. [13]

### Zařízení a pomůcky

Zkušební lis s měřícím zařízením s přesností měření  $\pm 1\%$ , horní tlačná deska se sférickou dosedací plochou, zrací komora

### Postup

Vyrobená tělesa (výška  $H = 120\text{ mm}$ , průměr vzorku  $D = 100\text{ mm}$ ) byla umístěna ve zrací komoře po požadovanou dobu zrání, tzn. 28 dní. Po uběhnutí požadované doby byla tělesa umístěná do lisu, kde se přesně vycentrovala, osadila se horní tlačná deska a započalo se zatěžování. Zatěžování probíhalo konstantní rychlostí až do porušení tělesa. Měřící zařízení zaznamenávalo hodnoty zatěžovací síly a deformace vzorků v průběhu celého měření.



Obr. 11 - Zkouška pevnosti v tlaku v lisu

## Vyhodnocení

Z naměřené maximální síly při porušení tělesa byla podle následujícího vztahu vypočítána pevnost v prostém tlaku ( $R_c$ ).

Rovnice č. 2 - Pevnost v tlaku  $R_c$

$$R_c = \frac{F}{A_c}$$

- kde  $R_c$  pevnost zkušebního tělesa v tlaku [MPa]  
 $F$  maximální zatěžovací síla při porušení tělesa [N]  
 $A_c$  zatěžovací plocha zkušebního tělesa [mm<sup>2</sup>]

Podrobný protokol zkoušky každého vzorku viz příloha C.

Výsledná pevnost směsí je průměrem z minimálně 3 naměřených hodnot (od každé směsi byly vyrobené 4 vzorky) s maximální odchylkou  $\pm 15$  % průměrné hodnoty pevnosti v tlaku. Dále při průkazních zkouškách musí být výsledná pevnost v tlaku směsi nejméně o 15 % vyšší, než je konkrétní minimální pevnost třídy směsí stmelovaných hydraulickými pojivy zatříděných podle ČSN 73 6124-1. [13] [9]

Tab. 8 - Výsledky zkoušky pevnosti v tlaku

<b>VÝSLEDKY ZKOUŠKY PEVNOSTI V TLAKU</b>	<b>SMĚŠ A 0/2 + 4 % CEM</b>	<b>SMĚŠ B 0/2 + 6 % CEM</b>	<b>SMĚŠ C 0/2 + 8 % CEM</b>	<b>SMĚŠ D 0/2 + 0/16 + 6 % CEM</b>	<b>SMĚŠ E 0/2 + 0/32 + 6 % CEM</b>
<b>PEVNOST V TLAKU [MPa]</b>	<b>3,36</b>	<b>4,72</b>	<b>4,37</b>	<b>4,61</b>	<b>4,07</b>
<b>PŘEPOČTENÁ PRŮKAZNÍ PEVNOST [MPa]</b>	<b>2,92</b>	<b>4,11</b>	<b>3,80</b>	<b>4,01</b>	<b>3,54</b>
<b>VÝSLEDNÁ TŘÍDA PEVNOSTI SMĚSI <math>R_c</math></b>	<b>C<sub>1,5/2</sub></b>	<b>C<sub>3/4</sub></b>	<b>C<sub>2,3/3</sub></b>	<b>C<sub>3/4</sub></b>	<b>C<sub>2,3/3</sub></b>

Pozn.: Přepočtená průkazní pevnost bere v potaz požadavek 15% rezervu a je pevností směsi po odečtení oné 15% rezervy je tedy referenční hodnotou pro následné zatřídění.



## 4.8.2 Zkouška pevnosti v příčném tahu

Provádění stanovuje norma ČSN EN 13286-42 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – část 42: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy.

### Podstata zkoušky

Podstatou této zkoušky je vystavit zkušební těleso tlaku, který působí na dvou protilehlých tlačných páscích na obvodu tělesa, až do jeho porušení. Ze síly odečtené při porušení se vypočítá pevnost v příčném tahu ( $R_{it}$ ). [17]

### Zařízení a pomůcky

Zkušební lis s měřícím zařízením s přesností měření  $\pm 1\%$ , ocelové tlačné kleště s tlačnými pásky z překližky, zrací komora

### Postup

Vyrobená tělesa (výška  $H = 120$  mm, průměr vzorku  $D = 100$  mm) byla umístěna ve zrací komoře po požadovanou dobu zrání, tzn. 28 dní. Po uběhnutí požadované doby byla tělesa přesně usazena do ocelových tlačných kleští (těleso bylo vycentrováno pomocí vodících přídržniček). Poté byly ocelové kleště vloženy do lisu a započalo se zatěžování, které probíhalo konstantní rychlostí až do porušení tělesa. Měřící zařízení zaznamenávalo hodnoty zatěžovací síly a deformace vzorků v průběhu celého měření.



Obr. 12 – Zkouška pevnosti v příčném tahu v lisu



Obr. 13 - Porušení vzorku po zkoušce v příčném tahu

### Vyhodnocení

Z naměřené maximální síly při porušení tělesa byla podle následujícího vztahu vypočítána pevnost v příčném tahu ( $R_{it}$ ).

Rovnice č. 3 - Pevnost v příčném tahu  $R_{it}$

$$R_{it} = \frac{2 \times F}{\pi \times H \times D}$$

- kde  $R_{it}$  pevnost zkušebního tělesa v příčném tahu [MPa]  
 $F$  maximální zatěžovací síla při porušení tělesa [N]  
 $H$  výška zkušebního tělesa [mm]  
 $D$  průměr zkušebního tělesa [mm]

Podrobný protokol zkoušky každého vzorku viz příloha C.

Norma dále nijak nespécifikuje vyhodnocení výsledné hodnoty pevnosti směsi. Nicméně jsem převzal stejné kritérium jako je použité i pevnosti v tlaku – výsledná hodnota pevnosti směsi je průměrem z minimálně 3 naměřených hodnot (od každé směsi byly vyrobené 4 vzorky) s maximální odchylkou  $\pm 15\%$  průměrné hodnoty pevnosti v tlaku.

Tab. 9 - Výsledky zkoušky pevnosti v příčném tahu

<b>VÝSLEDKY ZKOUŠKY PEVNOSTI V PŘÍČNÉM TAHU</b>	<b>SMĚS A</b> 0/2 + 4 % CEM	<b>SMĚS B</b> 0/2 + 6 % CEM	<b>SMĚS C</b> 0/2 + 8 % CEM	<b>SMĚS D</b> 0/2 + 0/16 + 6 % CEM	<b>SMĚS E</b> 0/2 + 0/32 + 6 % CEM
<b>PEVNOST V PŘÍČNÉM TAHU [MPa]</b>	<b>0,24</b>	<b>0,38</b>	<b>0,59</b>	<b>0,34</b>	<b>0,45</b>

### 4.8.3 Odolnost proti mrazu a vodě

Provádění stanovuje norma ČSN 73 6124-1 Stavba Vozovek – Vrstvy ze směsí stmelovaných hydraulickými pojivky – Část 1: Provádění a kontrola shody a dále norma ČSN EN 13286-41 Nestmelené směsi a směsi stmelované hydraulickými pojivky – část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelovaných hydraulickými pojivky.

#### Podstata zkoušky

Podstatou této zkoušky je nasimulování účinku mrazu a vody podle návrhového indexu mrazu dané oblasti. Poté se vystaví zkušební tělesa tlakové síle až do porušení. Zatížení konstantně narůstá, maximální síla se zaznamená a vypočítá se pevnost v tlaku zkušební tělesa (totožné se zkouškou pevnosti v tlaku). Výsledné hodnoty pevnosti v tlaku na těchto vzorcích nesmí být méně než 85% hodnoty pevnosti v tlaku zjištěné při průkazní zkoušce. [13] [9]

#### Zařízení a pomůcky

Mrazicí skříň (ve které lze dosáhnout alespoň  $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ ), zkušební lis s měřicím zařízením s přesností měření  $\pm 1\%$ , horní tlačná deska se sférickou dosedací plochou, zrací komora

#### Postup

Vyrobená tělesa (výška  $H = 120\text{ mm}$ , průměr vzorku  $D = 100\text{ mm}$ ) se umístí ve zrací komoře po požadovanou dobu zrání, tzn. 28 dní. Po uběhnutí požadované doby se vystaví cyklickému zatěžování zmrazovacími a rozmrazovacími cykly. Podle možné lokality použití směsí byl určený počet cyklů na třináct cyklů (dle tab. A.1 [9]). Tělesa se umístí na plstěnou podložku částečně ponořené ve vodě a nechají se kapilárně nasytit vodou. Přitom se zkušební tělesa nesmí dostat do přímého styku s vodou. Pak se uloží do mrazicí skříně na dobu  $(6 \pm 0,5)$  hodin. Po zmrazení se tělesa vyjmou z mrazicí skříně a položí se opět na plstěnou podložku na dobu  $(18 \pm 0,5)$  hodin, kde se opět kapilárně nasatí. Současně s tím probíhá rozmrazování. Zkouška takto opakuje předepsaným počtem cyklů. Po skončení posledního cyklu se zkouší pevnost v tlaku totožně s kapitolou 4.8.1. Tento postup byl zopakován pro každé zkušební těleso.

### Fotodokumentace vzorků směsí po mrazových cyklech před zkouškou



*Obr. 14 - Vzorky po mrazových cyklech před zkouškou  
(směs A vlevo, směs B vlevo)*

Na předchozích obrázcích je patrná různá odolnost směsí vůči vodě a mrazu, která je nejvíce závislá na obsahu cementu. Odolnost směsí se zvyšuje s rostoucím obsahem cementu a úbytek zrn z povrchu vzorku klesá, a to z důvodu silnějších vazeb mezi jednotlivými zrny způsobených pojivem. Další fotodokumentace vzorků je na následující straně.



Obr. 15 - Vzorek směsi A po mrazových cyklech před zkouškou



Obr. 16 - Vzorek směsi B po mrazových cyklech před zkouškou



Obr. 17 - Vzorek směsi C po mrazových cyklech před zkouškou

## Vyhodnocení

Z naměřené maximální síly při porušení tělesa vystavené mrazovým cyklům byla podle následujícího vztahu vypočítána pevnost v prostém tlaku ( $R_c$ ).

Rovnice č. 4 - Pevnost v tlaku  $R_c$

$$R_c = \frac{F}{A_c}$$

- kde  $R_c$  pevnost zkušebního tělesa v tlaku [MPa]  
 $F$  maximální zatěžovací síla při porušení tělesa [N]  
 $A_c$  zatěžovací plocha zkušebního tělesa [mm<sup>2</sup>]

Podrobný protokol zkoušky každého vzorku viz Příloha B – Protokoly zkoušek v lisu.

Výsledná pevnost směsí je průměrem z minimálně 3 naměřených hodnot (od každé směsi byly vyrobené 4 vzorky) s maximální odchylkou  $\pm 15$  % průměrné hodnoty pevnosti v tlaku. Výsledné hodnoty pevnosti v tlaku jednotlivých směsí nesmí být méně než 85% hodnoty pevnosti v tlaku zjištěné při průkazní zkoušce.

Tab. 10 - Výsledky zkoušky odolnosti proti mrazu a vodě

<b>VÝSLEDKY ZKOUŠKY ODOLNOSTI PROTI MRAZU A VODĚ</b>	<b>SMĚŠ A</b> 0/2 + 4 % CEM	<b>SMĚŠ B</b> 0/2 + 6 % CEM	<b>SMĚŠ C</b> 0/2 + 8 % CEM	<b>SMĚŠ D</b> 0/2 + 0/16 + 6 % CEM	<b>SMĚŠ E</b> 0/2 + 0/32 + 6 % CEM
<b>PEVNOST V TLAKU PO MRAZOVÝCH CYKLECH [MPa]</b>	<b>2,75</b>	<b>4,12</b>	<b>4,65</b>	<b>7,19</b>	<b>6,36</b>
<b>POMĚR K STANDARDNÍ PEVNOSTI V TLAKU SMĚSI [%]</b>	<b>81,81%</b>	<b>87,11%</b>	<b>106,21%</b>	<b>155,85%</b>	<b>156,16%</b>
<b>VYHOVÍ?</b>	<b>NE</b>	<b>ANO</b>	<b>ANO</b>	<b>ANO</b>	<b>ANO</b>

## 4.8.4 Experimentální stanovení modulu pružnosti $E_r$ směsí

Cílem této zkoušky bylo experimentálně zjistit modul pružnosti jednotlivých směsí.

Problematikou určení  $E_r$  z cyklické triaxiální zkoušky je, že vlastnosti mnoha zkoumaných směsí leží na pomezí mezi tuhými stmelеныmi vrstvami a nestmelenými vrstvami. Nejsou totiž tak tuhé jako betonové vrstvy, ale zároveň jsou tužší, a ne tak pružné jako vrstvy nestmelené. Proto je jeho stanovení problematické a záleží na konkrétní stmelené směsi a její tuhosti.

Existují oficiální postupy stanovení  $E_r$  založené na sledování pevnostních a deformačních charakteristik, jedná se ale o metody používané pro směsi s vyšší tuhostí. Protože se jedná o směsi, které by teoreticky mohly nahradit nestmelené vrstvy jako například šterkodrt. Proto jsem zvolil k tomuto pokusu triaxiální cyklickou zkoušku. Jedná se o tzv. funkční zkoušku, která se snaží simulovat zatížení při skutečném prostředí vrstev vozovky a zatížení též odpovídá skutečnému dynamickému namáhání. Experimentální zkouškou je proto, že stanovení tohoto parametru pro stmelené vrstvy v triaxiálním přístroji není žádnou normou ani jiným technologickým předpisem předepsáno.

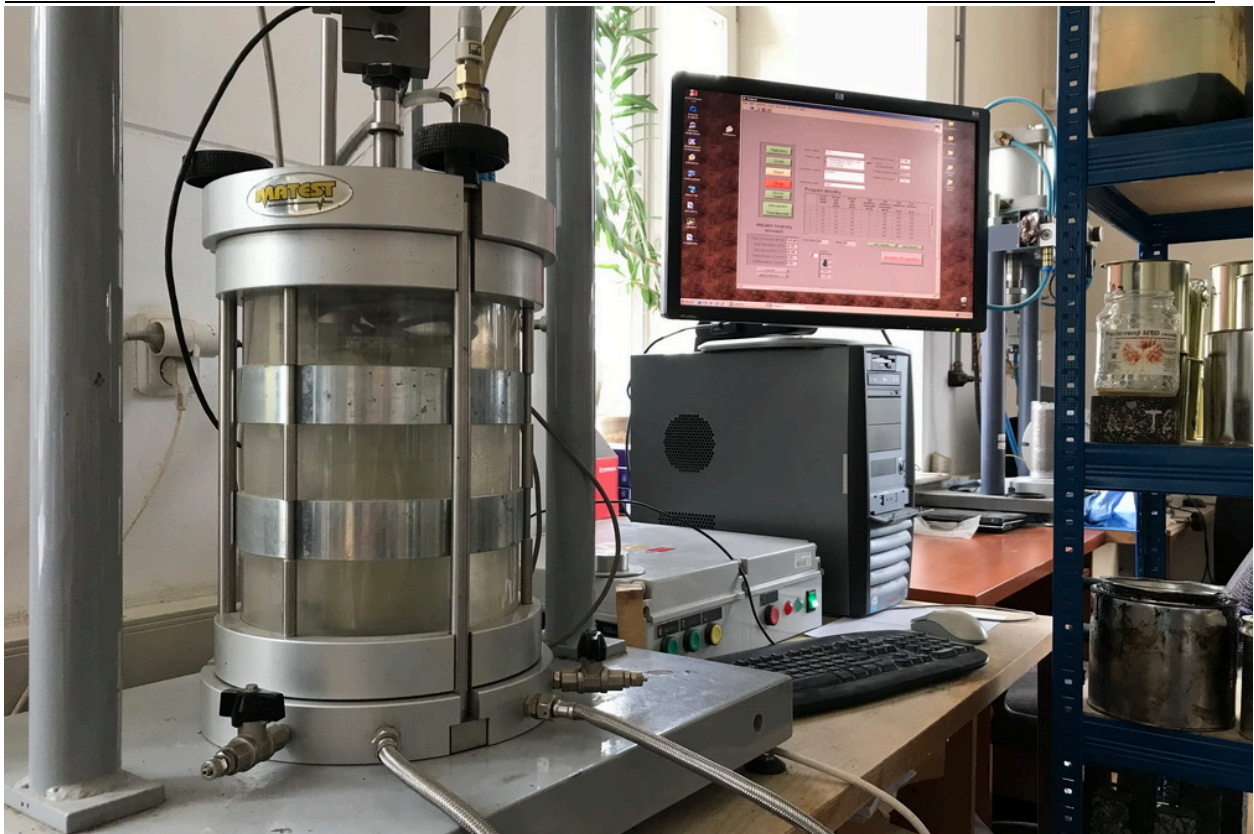
Při stanovení jsem vycházel z normy ČSN EN 13286-7 – Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 7: Zkouška nestmelených směsí cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji. Při zhotovení této zkoušky jsem též vycházel ze zkušeností z praxe doc. Ing. Dušana Stehlíka.

### Podstata zkoušky

Cyklická triaxiální zkouška spočívá v zatěžování válcových těles cyklickým napětím, které odpovídá různému rozsahu napětí působící na podkladní vrstvy. Podstatou zkoušky je měření pružného chování těles, kterého je dosaženo předběžným cyklickým zatěžováním (kondicionáním). To simuluje dodatečné zhutnění vrstev pojezdem těžkých nákladních vozidel. Při kondicionování dojde vlivem velkého počtu zatěžovacích cyklů k ustálení stálého přetvoření materiálu a k docílení pružného chování materiálu. Poté následuje zatěžování tělesa řadou cyklů o různém napětí, kdy je měřena hodnota pružného přetvoření a tomu odpovídající napětí. Výsledkem zkoušky jsou různé hodnoty modulů pružnosti ( $E_r$ ) pro konkrétní hodnoty svislého zatížení a konkrétního typu použití vrstvy.

Modul pružnosti ( $E_r$ ) roste se zvyšujícím se svislým napětím ( $\sigma_1$ ). Svislé napětí se zvyšuje s rostoucím komorovým tlakem ( $\sigma_3$ ), který simuluje tlak prostředí ve vozovce a schopnost vodorovně roznášet napětí v rámci vrstvy. Tlak kol je roznášen ve vozovce přibližně pod úhlem  $45^\circ$  a s rostoucí hloubkou se vodorovné síly v jednotlivých vrstvách klesají a tím i klesá napětí, při zkoušce simulované komorovým tlakem ( $\sigma_3$ ).

Ze dvou možných metod této zkoušky jsem vybral metodu B s konstantním komorovým tlakem – úroveň vysokého napětí. [18]

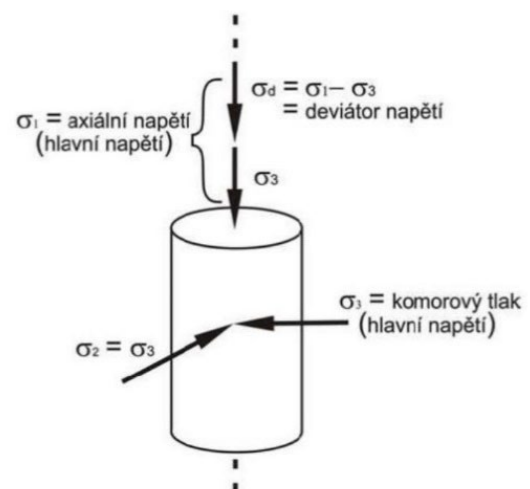


Obr. 18 – Zatěžovací schéma

### Zařízení a pomůcky

Triaxiální tlaková komora, pracovní médium v komoře – vzduch, zatěžovací zařízení, sensory tlaku osové síly, sensory deformace, porézní destičky a podstava umožňující drenáž konců vzorků, membrána, zrací komora

Obr. 19 - Průběh měření v triaxiálním přístroji



### Postup

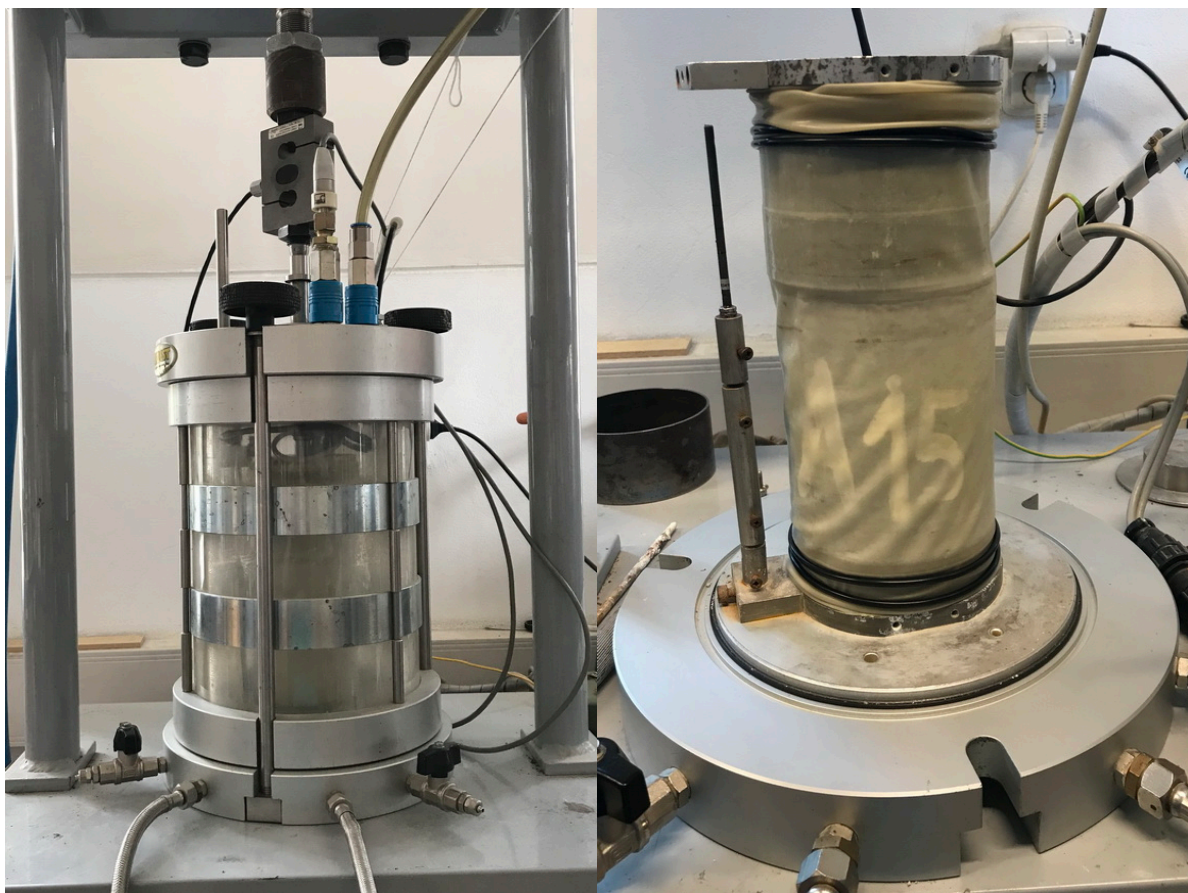
Vyrobená tělesa (výška  $H = 120$  mm, průměr vzorku  $D = 100$  mm) byla umístěna ve zrací komoře na minimální požadovanou dobu zrání, tzn. 28 dní. Následně bylo zkušební těleso vyndáno před zkouškou ze zrací skříně a vzorek byl pečlivě připraven – navléknutí membrány, umístění porézních destiček a uchycení membrány pryžovým kroužkem k horní a spodní podstavy triaxiální komory, vycentrování uložení vzorku v triaxiální komoře, osazení měřicích sensorů deformací a poté uzavření triaxiální komory. Poté byla triaxiální komora se vzorkem vložena do zatěžujícího zařízení.



Následně bylo zahájeno kondicionování vzorku při konstantním komorovém tlaku ( $\sigma_3$ ) o 5000 cyklech. Oproti obvyklému počtu cyklů při kondicionování (20 000) jich bylo použito méně, protože obvyklá hodnota je určena pro nestmelené materiály a zeminy. Pružné deformace stmelených směsí jsou ustáleny dříve než např. u plastických zemin. Proto byly deformace na prvních vzorcích sledovány a následně byl počet iniciačních cyklů snížen na 5 000.

Poté bylo těleso vystaveno hlavní části zatěžování – svislému napětí při konstantním komorovém tlaku. Deviátor napětí ( $\sigma_d$ ) a komorový tlak ( $\sigma_3$ ) byl měněn po 29 krocích, kdy bylo těleso v každém kroku vystaveno 100 zatěžovacím cyklům (hodnoty příslušných tlaků podle jednotlivých kroků viz tabulka níže). Při zatěžování byly zaznamenávány hodnoty svislých deformací vzorku při různém svislém napětí ( $\sigma_1$ ). Následovala analýza naměřených dat, vypočítání hodnot modulů pružnosti ( $E_r$ ) pro jednotlivé komorové tlaky a svislé zatížení.

Pozn.: V mém případě byly vzorky zkoušeny později, ve stáří přibližně 35 až 55 dní od data zhotovení. Důvodem byla časová náročnost zkoušek a návaznost laboratorního výzkumu. Výsledky by tím být ovlivněné neměly, nárůst pevnosti probíhá během prvního měsíce, pak se již ustálí a dále nenarůstá.



Obr. 20 - Triaxiální komora a usazování vzorku v komoře

Tab. 11 - Úroveň napětí pro pružné chování, Metoda B

<b>METODA B - Úroveň vysokého napětí</b>				
Číslo kroku zatěžování	Počet cyklů	Komorový tlak	Deviátor napětí	
		konstantní [kPa]	min [kPa]	max [kPa]
1	100	20	0	30
2	100	20	0	50
3	100	20	0	80
4	100	20	0	115
5	100	35	0	50
6	100	35	0	80
7	100	35	0	115
8	100	35	0	150
9	100	35	0	200
10	100	50	0	80
11	100	50	0	115
12	100	50	0	150
13	100	50	0	200
14	100	50	0	280
15	100	70	0	115
16	100	70	0	150
17	100	70	0	200
18	100	70	0	280
19	100	70	0	340
20	100	100	0	150
21	100	100	0	200
22	100	100	0	280
23	100	100	0	340
24	100	100	0	400
25	100	150	0	200
26	100	150	0	280
27	100	150	0	340
28	100	150	0	400
29	100	150	0	475

## Vyhodnocení

Základní teorie této zkoušky vychází z následujících rovnic:

Rovnice č. 5 – Poměrné přetvoření tělesa při zatížení

$$\varepsilon_{1,i} = \frac{\Delta h_{1,i}}{H}$$

kde	$\varepsilon_{1,i}$	poměrné přetvoření tělesa při zatížení [-]
	$\Delta h_{1,i}$	změna výšky zkušebního tělesa při zatížení [-]
	$H$	výška zkušebního tělesa [mm]

Rovnice č. 6 – Poměrné přetvoření tělesa při odtížení

$$\varepsilon_{2,i} = \frac{\Delta h_{2,i}}{H}$$

kde	$\varepsilon_{2,i}$	poměrné přetvoření tělesa při odtížení [-]
	$\Delta h_{2,i}$	změna výšky zkušebního tělesa při odtížení [-]
	$H$	výška zkušebního tělesa [mm]

Rovnice č. 7 – Svislé napětí

$$\sigma_{1,i}^r = \sigma_{1,max,i} - \sigma_{1,min,i}$$

kde	$\sigma_{1,i}^r$	svislé napětí [MPa]
	$\sigma_{1,max,i}$	svislé napětí při zatížení [MPa]
	$\sigma_{1,min,i}$	svislé napětí při odtížení [MPa]

Rovnice č. 8 – Pružné poměrné přetvoření

$$\varepsilon_{1,i}^r = \varepsilon_{1,i} - \varepsilon_{2,i}$$

kde	$\varepsilon_{1,i}^r$	pružné poměrné přetvoření [-]
	$\varepsilon_{1,i}$	poměrné přetvoření tělesa při zatížení [-]
	$\varepsilon_{2,i}$	poměrné přetvoření tělesa při odtížení [-]

Rovnice č. 9 – Modul pružnosti

$$E_{r,i} = \frac{\sigma_{1,i}^r}{\varepsilon_{1,i}^r}$$

kde	$E_{r,i}$	modul pružnosti [MPa]
	$\sigma_{1,i}^r$	svislé napětí [MPa]
	$\varepsilon_{1,i}^r$	pružné poměrné přetvoření [-]

Můj výpočet se odvíjel od měřených hodnot triaxiálního přístroje a datového výstupu, postup výpočtu jsem provedl podle následujících rovnic:

Přístroj byl vybaven dvěma senzory osových deformací, označených jako senzor X a Y.

*Rovnice č. 10 – Deformace tělesa pro konkrétní senzor*

$$\Delta x_i = \text{def}_{x,max,i} - \text{def}_{x,min,i}; \Delta y_i = \text{def}_{y,max,i} - \text{def}_{y,min,i}$$

kde  $\Delta x_i; \Delta y_i$  deformace tělesa pro konkrétní senzor X či Y [mm]

$\text{def}_{x,max,i}; \text{def}_{y,max,i}$  deformace tělesa při zatížení [mm]

$\text{def}_{x,min,i}; \text{def}_{y,min,i}$  deformace tělesa při odtížení [mm]

Z těchto dvou hodnot jsem vypočítal průměrnou hodnotu deformace vzorku.

*Rovnice č. 11 – Průměrná osová deformace*

$$\Delta def = \frac{\Delta x_i + \Delta y_i}{2}$$

kde  $\Delta def$  průměrná deformace z obou senzorů [mm]

$\Delta x_i; \Delta y_i$  deformace tělesa pro konkrétní senzor X či Y [mm]

Dále přístroj snímal velikost svislého zatížení (tj. deviátor napětí) vyvozeného zatěžovacím zařízením, které jsem poté přepočítal na napětí vyvozené ve zkušebním tělese.

*Rovnice č. 12 – Svislé zatížení*

$$\Delta F_i = F_{i,max} - F_{i,min}$$

kde  $\Delta F_i$  svislé zatížení vzorku [kN]

$F_{i,max}$  svislé zatížení tělesa při zatížení [kN]

$F_{i,min}$  svislé zatížení tělesa při odtížení [kN]

*Rovnice č. 13 – Pružné poměrné přetvoření*

$$\varepsilon_{1,i}^r = \frac{\Delta def}{H}$$

kde  $\varepsilon_{1,i}^r$  pružné poměrné přetvoření [-]

$\Delta def$  průměrná deformace z obou senzorů [mm]

$H$  výška zkušebního tělesa [mm]

Rovnice č. 14 – Deviator napětí

$$\sigma_{d,i} = \frac{\Delta F_i}{A}$$

kde  $\sigma_{d,i}$  deviator napětí [MPa]  
 $\Delta F_i$  svislé zatížení vzorku [kN]  
 $A$  zatěžovací plocha zkušebního tělesa [mm<sup>2</sup>]

Rovnice č. 15 – Deviator napětí

$$\sigma_{1,i}^r = \sigma_{d,i} + \sigma_{3,i}$$

kde  $\sigma_{1,i}^r$  svislé napětí [MPa]  
 $\sigma_{d,i}$  deviator napětí [MPa]  
 $\sigma_{3,i}$  komorový tlak [MPa]

Dále následoval výpočet modulu pružnosti podle dříve uvedené rovnice:

Rovnice č. 16 - Modul pružnosti

$$E_{r,i} = \frac{\sigma_{1,i}^r}{\varepsilon_{1,i}^r}$$

kde  $E_{r,i}$  modul pružnosti [MPa]  
 $\sigma_{1,i}^r$  svislé napětí [MPa]  
 $\varepsilon_{1,i}^r$  pružné poměrné přetvoření [-]

Dle těchto rovnic byl vypočítán modul pružnosti  $E_r$  pro každé zatížení v rámci cyklu. Následně jsem spočítal jeho průměrnou hodnotu pro celý zatěžovací krok o sto cyklech.

Při analýze naměřených dat jsem zjistil, že jednotlivé výsledky modulu deformace  $E_r$  mají mezi sebou relativně velkou odchylku. Tento jev je pravděpodobně způsoben větší pevností vzorků a jiným odezvám na zatížení, než je u směsí nestmelených – konkrétně menší hodnoty pružných deformací a rychlejší odezva na zatížení, což i odpovídá křehčímu, ale tvrdšímu charakteru chování těchto stmelených směsí.

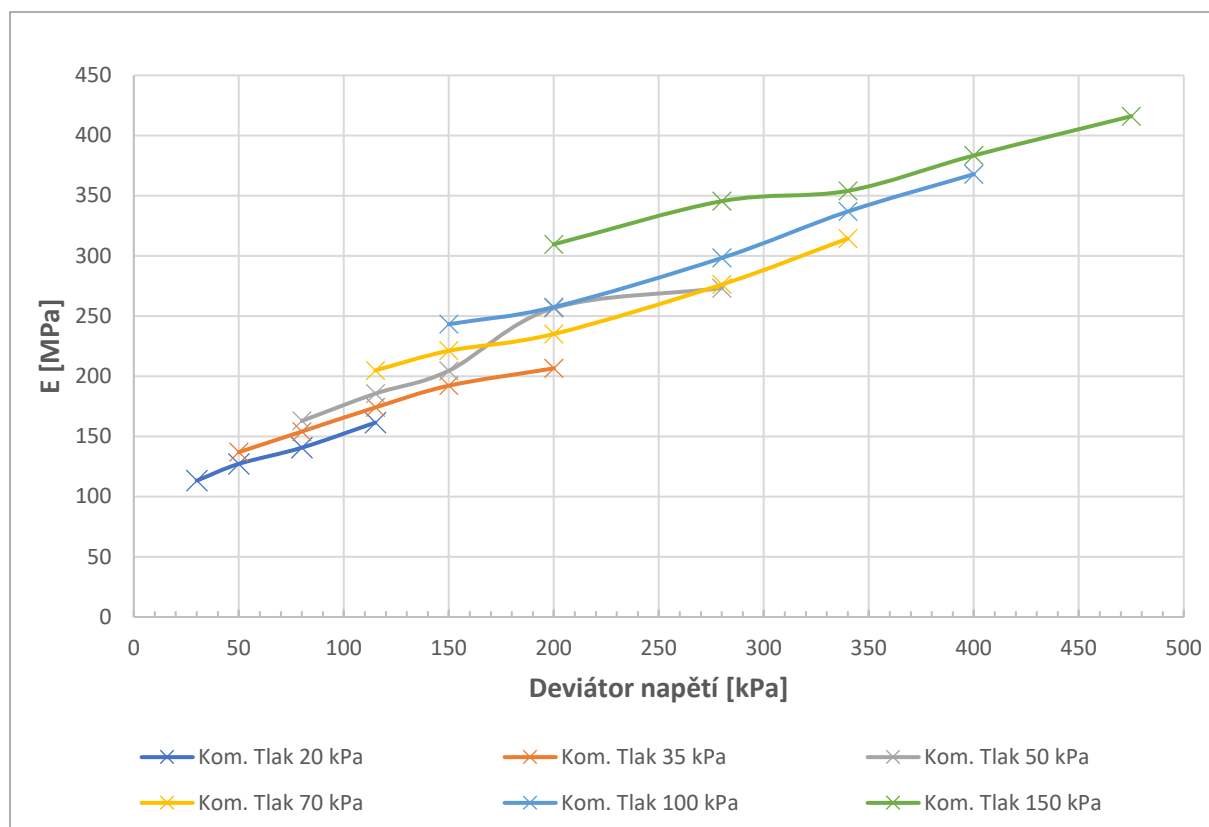
Proto jsem vybral dvě nejvíce použitelné směsi B a D podle výsledků předchozích zkoušek a jednotlivá data pročistil. Zavedl jsem následující statistická kritéria – maximální odchylka jednotlivých hodnot modulu pružnosti  $E_r$  od průměru cyklu 20 % a maximální hodnotu variačního koeficientu 10 %.

Dále jsem z pročistěných dat jednotlivých vzorků vyčíslil průměrnou hodnotu modulu pružnosti  $E_r$ . V případě větší odchylky jednotlivých hodnot  $E_r$  pro jednotlivé kroky zatěžování byla hodnota vyřazena a průměrná hodnota  $E_r$  je stanovena ze zbývajících hodnot. Jako ukazatele směrodatnosti výsledků hodnoty  $E_r$  jsem použil průměrné hodnoty

směrodatné odchytky a variačního koeficientu. Pokud variační koeficient dosáhl hodnoty větší jak 10 %, tak je nepovažuji za směrodatné, a proto byly vyřazeny.

Výsledné hodnoty  $E_r$  směsi B vykazují mnou stanovená kritéria (přehled hodnot níže), u směsi D bohužel tato kritéria hodnoty nesplňovaly a nelze z nich stanovit relevantní výsledky. Hodnoty  $E_r$  jednotlivých kroků zatěžování vykazují velké rozdíly mezi vzorky a jejich odchytky jsou i v jiných řádech, tudíž výsledky nejsou použitelné.

Graf 8 - Výsledné hodnoty modulu pružnosti  $E_r$  směsi B



Výsledné hodnoty je třeba chápat jako orientační, a to kvůli již dříve zmíněné problematice stanovení  $E_r$ . Komerový tlak 70 kPa odpovídá použití směsi jako spodní podkladní vrstvy. Hodnoty  $E_r$  se pohybují v rozmezí 200 až 320 MPa, modul pružnosti tak můžeme přibližně uvažovat 260 MPa. Horním podkladním vrstvám odpovídá komerový tlak 100 kPa. Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí 240 až 370 MPa, modul pružnosti můžeme uvažovat přibližně 310 MPa. Orientačně tedy můžeme uvažovat modul pružnosti pro sledované zhutněné stmelené směsi v rozsahu 250 až 350 MPa, protože graf vykazuje nárůst modulu pružnosti i pro vyšší zatížení. Můžeme také usuzovat, že se tak bude chovat i při větším zatížení, než bylo při zkoušce použité.

Detailnější přehled výsledných hodnot a grafů směsi B viz příloha D, na následujících straně ještě uvádím tabulku výsledných hodnot modulu pružnosti  $E_r$  pro jednotlivé kroky zatěžování.

Tab. 12 – Přehled výsledných hodnot  $E_r$  pro směs B

METODA B - Úroveň vysokého napětí					PRŮMĚRNÁ HODNOTA $E_r$ SMĚSI [MPa]	PRŮMĚRNÁ HODNOTA SMĚRODATNÉ ODCHYLKY $E_r$ SMĚSI [MPa]	PRŮMĚRNÁ HODNOTA VAR. KOEF. $E_r$ [%]
Číslo kroku zatěžování	Počet cyklů	Komorový tlak	Deviátor napětí				
		Konstantní [kPa]	Min [kPa]	Max [kPa]			
1	100	20	0	30	<b>113</b>	7,80	8,70
2	100	20	0	50	<b>127</b>	8,43	8,00
3	100	20	0	80	<b>141</b>	8,08	7,14
4	100	20	0	115	<b>162</b>	9,41	6,63
5	100	35	0	50	<b>137</b>	9,09	7,70
6	100	35	0	80	<b>154</b>	8,66	6,47
7	100	35	0	115	<b>174</b>	8,60	5,42
8	100	35	0	150	<b>192</b>	9,63	5,42
9	100	35	0	200	<b>207</b>	11,84	5,92
10	100	50	0	80	<b>163</b>	8,57	5,88
11	100	50	0	115	<b>186</b>	8,91	5,27
12	100	50	0	150	<b>205</b>	9,33	4,91
13	100	50	0	200	<b>257</b>	12,11	4,77
14	100	50	0	280	<b>273</b>	15,19	5,59
15	100	70	0	115	<b>205</b>	14,26	7,14
16	100	70	0	150	<b>221</b>	11,72	5,39
17	100	70	0	200	<b>235</b>	12,13	5,28
18	100	70	0	280	<b>276</b>	15,68	5,72
19	100	70	0	340	<b>314</b>	11,07	3,70
20	100	100	0	150	<b>244</b>	15,83	6,74
21	100	100	0	200	<b>257</b>	14,37	5,56
22	100	100	0	280	<b>298</b>	12,67	4,22
23	100	100	0	340	<b>337</b>	13,37	4,02
24	100	100	0	400	<b>368</b>	16,23	4,63
25	100	150	0	200	<b>310</b>	25,63	8,47
26	100	150	0	280	<b>346</b>	21,54	5,77
27	100	150	0	340	<b>354</b>	12,48	3,65
28	100	150	0	400	<b>383</b>	15,09	4,00
29	100	150	0	475	<b>416</b>	17,76	4,37

## 4.9 Přehled mechanických vlastností směsí a jejich porovnání

V následující tabulce uvádím přehled všech mechanických vlastností:

Tab. 13 Přehled hodnot zkoumaných mechanických vlastností

<b>PŘEHLED HODNOT ZKOUMANÝCH MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ</b>	<b>SMĚS A</b> 0/2 + 4 % CEM	<b>SMĚS B</b> 0/2 + 6 % CEM	<b>SMĚS C</b> 0/2 + 8 % CEM	<b>SMĚS D</b> 0/2 + 0/16 + 6 % CEM	<b>SMĚS E</b> 0/2 + 0/32 + 6 % CEM
<b>PEVNOST V TLAKU [MPa]</b>	3,36	4,72	4,37	4,61	4,07
<b>PŘEPOČTENÁ PRŮKAZNÍ PEVNOST [MPa]</b>	2,92	4,11	3,80	4,01	3,54
<b>VÝSLEDNÁ TŘÍDA PEVNOSTI SMĚSI R<sub>c</sub></b>	C <sub>1,5/2</sub>	C <sub>3/4</sub>	C <sub>2,3/3</sub>	C <sub>3/4</sub>	C <sub>2,3/3</sub>
<b>PEVNOST V TLAKU PO MRAZOVÝCH CYKLECH [MPa]</b>	2,75	4,12	4,65	7,19	6,36
<b>POMĚR K STANDARDNÍ PEVNOSTI V TLAKU SMĚSI</b>	81,81%	87,11%	106,21%	155,85%	156,16%
<b>VYHOVÍ ?</b>	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
<b>PEVNOST V PŘÍČNÉM TAHU [MPa]</b>	0,24	0,38	0,59	0,34	0,45

Mnou navržené a zkoumané směsi vykazují pevnosti v tlaku podobných hodnot okolo 4 MPa. Směs B a D lze zařadit do pevnostní třídy C<sub>3/4</sub>, směs C a E spadají do pevnostní třídy C<sub>2,3/3</sub> a jsou lehce pod hranicí vyšší třídy pevnosti. Směs A spadá do pevnostní třídy C<sub>1,5/2</sub>, je oproti ostatním směsím výrazně slabší a to o 1,4 MPa v porovnání se směsí B. Pevnost v tlaku směsi ovlivňuje obsah pojiva. Ta se zvyšuje přibližně do 6 %, poté již s rostoucím množstvím cementu pevnost nenarůstá. Přimíchání hrubší frakce do směsi pevnost v tlaku nijak neovlivnilo.

Odolnosti směsí vůči vodě a mrazu vyhověly všechny směsi krom směsi A (kritériem je dosažení 85 % z pevnosti v tlaku směsi). Odolnost je nejvíce závislá na obsahu cementu a zvyšuje se s rostoucím obsahem cementu. Úbytek zrn z povrchu vzorku klesá, a to z důvodu silnějších vazeb mezi jednotlivými částicemi způsobených pojivem. Vliv hrubší frakce ve směsi D a E se zde též projevil a odolnost se tím také zvyšuje.

Pevnost v příčném tahu roste se zvyšujícím se obsahem pojiva ve směsi a jeho obsah ji nejvíce ovlivňuje. Přimíchání hrubší frakce vede také ke zvýšení pevnosti v příčném tahu, avšak hodnota pevnosti směsi D je překvapivě nižší než směsi B.



Z důvodu problematiky vyhodnocení modulu pružností směsí nemůžu hodnoty směsí vzájemně porovnat a směrodatné výsledky mám pouze pro směs B. Z dosažených výsledků směsi B můžeme uvažovat modul pružnosti 260 MPa při použití jako spodní podkladní vrstvy, pro horní podkladní vrstvy můžeme uvažovat modul pružnosti 310 MPa. Obecně můžeme uvažovat hodnotu modulu pružnosti  $E_r$  pro navržené směsi v rozsahu 250 až 350 MPa. V porovnání s návrhovými moduly pružnosti používaných silničních podkladních vrstev dle TP 170 – nejvíce srovnatelný je s modulem vrstev ze štěrkodrti, kde uvažujeme návrhový modul 400 MPa. Tudíž by mnou zkoušené směsi s frakcí 0/2 mohli mít potenciál k jejich náhradě. [10]

Pro ověření výsledků bylo přínosné zvětšit statistický soubor dat a porovnat s výsledky dalších možných postupů stanovení modulu pružnosti  $E_r$ .

## 4.10 Přehled a porovnání ostatních vlastností směsí

V rámci této kapitoly uvádím a porovnávám další poznatky získané v průběhu mé praktické části práce. Zaměřil jsem se na úbytek vlhkosti směsí zapříčiněný hydratací cementu a vlastnosti směsí tím ovlivněné.

Tab. 14 – Přehled ostatních vlastností směsí

<b>OSTATNÍ VLASTNOSTI SMĚSÍ</b>	<b>SMĚS A 0/2 + 4 % CEM</b>	<b>SMĚS B 0/2 + 6 % CEM</b>	<b>SMĚS C 0/2 + 8 % CEM</b>	<b>SMĚS D 0/2 + 0/16 + 6 % CEM</b>	<b>SMĚS E 0/2 + 0/32 + 6 % CEM</b>
<b>SUCHÁ OBJEMOVÁ HMOTNOST PO ZHUTNĚNÍ – Z PROCTOROVY ZKOUŠKY [kg/m<sup>3</sup>]</b>	-	2090	-	2125	2155
<b>SUCHÁ OBJEMOVÁ HMOTNOST PO ZHUTNĚNÍ – ZE ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ [kg/m<sup>3</sup>]</b>	(2073)	2090	2093	2118	2155
<b>OPTIMÁLNÍ VLHKOST SMĚSI DLE PROCTOROVY ZKOUŠKY [%]</b>	-	7,5	-	7,4	7,2
<b>ÚBYTEK VLHKOSTI HYDRATAČÍ CEMENTU – Z PROCTOROVY ZKOUŠKY [%]</b>	-	1,0	-	1,3	0,9
<b>ÚBYTEK VLHKOSTI HYDRATAČÍ CEMENTU – ZE ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ [%]</b>	(0,30)	1,16	1,16	1,00	1,07
<b>OPTIMÁLNÍ VLHKOST ZÁMĚSI [%]</b>	9,0	9,5	9,5	9,5	9,0

Při zhotovování zkušebních těles jsem odebíral vzorky materiálu směsi a stanovil jsem z nich vlhkost směsi tělesa po smíchání s cementem před hutněním a poté jsem vypočítal suchou objemovou hmotnost těles. Tento nápad jsem realizoval až v průběhu zhotovování zkušebních těles, proto jsem měl u směsi A k dispozici jen 4 hodnoty. Hodnoty vlhkosti směsi A dle zkušeností z průběhu zhotovování vzorků neodpovídají

očekávaným hodnotám, proto je uvádím v závorkách a beru jejich vypovídající hodnotu s rezervou. Ostatní hodnoty suché objemové hmotnosti získané ze zkušebních vzorků jsou skoro totožné s hodnotou suché objemové hmotnosti stanovené Proctorovou zkouškou. To svědčí o optimálním zhutnění vzorku a též potvrzuje, že stanovená vlhkost záměsi je správně navržena. Obecně je tato hodnota ale orientační.

Hodnoty úbytků vlhkostí směsí ze zkušebních vzorků potvrzují vypovídající hodnotu grafů úbytku vlhkosti stanovené při Proctorově zkoušce, hodnoty se však lehce liší. Obecně se dá říci, že se úbytek pohybuje okolo 1 % vlhkosti směsi. Očekávaný nárůst úbytku vlhkosti u směsi C z důvodu většího obsahu cementu nebyl prokázán.

## 4.11 Finanční analýza ceny jednotlivých směsí

V rámci této kapitoly jsem stanovil cenu jednotlivých směsí. Jedná se jen o cenu použitého materiálu, provádění není zahrnuté. Jako podklad jsem použil ceník materiálu z lomu v Ondřejovicích a interní informace firmy Kareta s.r.o. V ceně směsí je už i zahrnutý materiál potřebný k dosažení optimálního zhutnění, ve výpočtu jsem tento koeficient nazval koeficientem přepočtu na zhutněnou vrstvu. [19]

Tab. 15 - Finanční analýza směsí

<b>FINANČNÍ ANALÝZA</b>	<b>SMĚS A</b> 0/2 + 4 % CEM	<b>SMĚS B</b> 0/2 + 6 % CEM	<b>SMĚS C</b> 0/2 + 8 % CEM	<b>SMĚS D</b> 0/2 + 0/16 + 6 % CEM	<b>SMĚS E</b> 0/2 + 0/32 + 6 % CEM
<b>CELKOVÁ CENA SMĚSI [Kč/m<sup>3</sup>]</b>	413	490	564	527	569
<b>CENA KAMENIVA VE SMĚSI [Kč/m<sup>3</sup>]</b>	261	263	264	290	326
<b>CENA CEMENTU VE SMĚSI [Kč/m<sup>3</sup>]</b>	145	219	293	230	236
<b>POMĚR PEVNOSTI A CENY [Kč/MPa]</b>	123	104	129	114	140

Cena kameniva směsí je přibližně 45 až 63 % z celkové ceny směsi, složka cementu je zhruba 35 až 52 % z této hodnoty. Ceny kameniva u směsí frakce 0/2 jsou rozdílné, protože jsem do výpočtu zahrnul zmíněným koeficientem přepočtu – poměrem maximální suché objemové hmotnosti jednotlivých směsí k sypané objemové hmotnosti materiálu při skladování. Ceny cementu v rámci směsí se stejným procentem pojiva jsou také rozdílné, protože jsem do výpočtu zahrnul dávkování hmotnostním poměrem. Objemová hmotnost směsí kameniva jednotlivých směsí je odlišná, tudíž s vyšší hodnotou roste i dávkování cementu. Rozdíl ale není zásadní. Též zajímavým výstupem je poměr pevnosti v tlaku směsi a ceny. [19]

V následující tabulce uvádím porovnání cen materiálu a vrstev ze štěrkodrti frakce 0/32 a 0/63, které by mohly mnou zkoumané vrstvy v konstrukci vozovky nahradit. Při porovnávání jsem je porovnával s cenou směsi B. V analýze opět vycházím ze srovnávání nákladů na již zhutněné vrstvy.

Tab. 16 – Finanční analýza porovnání se štěrkodrtí

<b>FINANČNÍ ANALÝZA</b>	<b>SMĚS B</b>	<b>ŠD frakce 0/32</b>	<b>ŠD frakce 0/63</b>
<b>CENA KAMENIVA V LOMU [Kč/t]</b>	126	189	189
<b>CENA KAMENIVA ZHUTNĚNÉ VRSTVY [Kč/m<sup>3</sup>]</b>	263	454	454
<b>CENA ZHUTNĚNÉ SMĚSI [Kč/m<sup>3</sup>]</b>	490	454	454
<b>POROVNÁNÍ NÁKLADŮ NA SMĚS B S CENOU NESTMELENÝCH VRSTEV</b>	<b>NÁKLADY NA SMĚS B</b>	<b>POMĚR K NÁKLADŮM NA ŠD 0/32 <sup>1</sup></b>	<b>POMĚR K NÁKLADŮM NA ŠD 0/63 <sup>1</sup></b>
<b>NÁKLADY NA KAMENIVO Z LOMU [Kč/t]</b>	126	67 %	67 %
<b>NÁKLADY NA KAMENIVO ZHUTNĚNÉ SMĚSI [Kč/m<sup>3</sup>]</b>	263	58 %	58 %
<b>NÁKLADY NA CEMENT A ZÁMĚSOVOU VODU VE ZHUTNĚNÉ SMĚSI B [Kč/m<sup>3</sup>]</b>	226	50 % Z CELKOVÉ CENY SMĚSI Z MAT. ŠD	50 % Z CELKOVÉ CENY SMĚSI Z MAT. ŠD
<b>CELKOVÉ MATERIÁLOVÉ NÁKLADY NA ZHUTNĚNOU SMĚS [Kč/m<sup>3</sup>]</b>	490	108 % Z CELKOVÉ CENY VRSTVY Z MAT. ŠD	108 % Z CELKOVÉ CENY VRSTVY Z MAT. ŠD
<sup>1</sup> procentuální výše nákladů na směs B v porovnání s náklady na materiál vrstvy ze štěrkodrtí			

Cena veškerého materiálu potřebného k výrobě směsi B vychází nákladněji než cena nestmelené vrstvy z frakce 0/32, konkrétně o 8 %. Cena použitého kameniva pro zhutněnou vrstvu 0/2 je 60 % z ceny použitého kameniva pro vrstvy z frakce 0/32. Porovnání ceny s vrstvami ze štěrkodrti frakce 0/63 vychází totožně. Pokud bychom se ale na tyto jemné frakce dívali z pohledu, že pro nás mají nulovou finanční hodnotu, tak náklady na materiál budou činit pouze cenu použitého cementu a záměsové vody. Při tomto úhlu pohledu na směsi B v porovnání s vrstvami zhotovených z kameniva frakce 0/32 či 0/63 činí 50 % ceny. Při výpočtu jsem porovnával přepočítané ceny materiálu za 1 metr krychlový a je v něm i zohledněná spotřeba materiálu při hutnění. [19]

## 4.12 Posouzení možného uplatnění směsi v konstrukci vozovky

V této kapitole jsem se věnoval posouzení možného použití směsi B v konstrukci vozovky. Z výsledků triaxiální zkoušky jsem získal hodnoty modulu pružnosti  $E_r$ , které jsem zahrnul ve výpočtu pomocí softwaru LayEPS. Dle předpokládaného zatížení a dalších návrhových parametrů jsem vybral vhodnou skladbu vozovky pomocí katalogových listů TP 170. Podle hodnot modulu pružnosti by směs B mohla být náhradou za nestmelené vrstvy šterkodrti, z toho důvodu jsem vybral skladby je obsahující. [10]

Postup posouzení byl následující: Nejprve jsem definoval vstupní parametry výpočtu, poté posoudil vybranou vrstvu vozovky dle TP 170 a následovně navrhl skladbu vozovky s použitím mnou zkoušené nestmelené směsi B a posoudil. Výsledkem je možnost porovnání s konstrukcí dle TP a potvrzení či zamítnutí možného použití pro dané dopravní zatížení a typ komunikace.

Z vlastností směsi je její předpokládaná možnost použití pro třídy dopravního zatížení IV a nižší s uplatněním na vozovky silnic třetích tříd, místních obslužných komunikací a pro odstavné a parkovací plochy. Z toho vyplývá návrhová úroveň porušení vozovky D2, v případě silnic III. třídy úroveň porušení D1. Jako typ podloží jsem vždy volil PIII – návrhový modul  $E_{pd} = 50$  MPa. Dopravní zatížení jsem vždy zvolil jako maximální  $TNV_k$  pro skladbu dle katalogových listů. Hodnoty koeficientů výpočtu jsem volil následovně dle předpokládaného využití komunikace:

Pro součinitel C1 vyjadřující podíl intenzity TNV na nejvíce zatíženém pruhu:

$C1 = 1,0$  pro TDZ V a VI jako jednopruhové komunikace

$C1 = 0,5$  pro TDZ IV jako obousměrné komunikace

Pro součinitel C2 vyjadřující fluktuaci stop vozidel:

$C2 = 0,7$  pro ostatní úrovně porušení

Pro součinitel C3 vyjadřující vliv různých zatížení:

$C3 = 0,5$  pro běžné dopravní zatížení netuhých vozovek

$C3 = 1,0$  pro zatížení s plně naloženými TNV netuhých vozovek

Pro součinitel C4 vyjadřující vliv rychlosti pohybu:

$C4 = 1,0$  pro rychlosti 50 km/h a vyšší

$C4 = 2,0$  pro rychlost menší jak 50 km/h

Dále jsem posoudil již použitou skladbu vozovky, která byla použita firmou Karetta s.r.o. jako odkladová plocha při výrobě a zkusil navrhnout její alternativu s využitím zkoušené směsi. Výsledky uvádím v tabulkách v následujících podkapitolách.

## 4.12.1 Konstrukce vozovky pro třídu dopravního zatížení IV.

Pro třídu dopravního zatížení IV. jsem porovnal dvě katalogové vrstvy. U těchto konstrukcí vozovek jsem uvažoval návrhovou úroveň porušení D1, komunikaci jako dvoupruhovou, tzn. koef.  $C1 = 0,5$ .

Tab. 17 – Posouzení skladby vozovky č. 1

<b>Dopravní zatížení:</b> IV.				<b>C1 = 0,5</b>		<b>Typ podloží PIII</b>	
<b>Úroveň porušení:</b> D1				<b>C2 = 0,7</b>		<b>E<sub>pl</sub> = 50 MPA</b>	
TNV <sub>0</sub> = 500				C3 = 0,5			
TNV <sub>c</sub> = 2281250				C4 = 1,0			
Skladba vozovky dle TP - D1-N-2				Alternativní návrh vozovky			
Vrstva	tl. [mm]	Er [mm]	Pom. Por. vrstvy	Vrstva	tl. [mm]	Er [MPa]	Pom. Por. vrstvy
ACO	40	5500	0,0000	ACO	40	5500	0,0000
ACL +	60	7500	0,0011	ACL +	60	7500	0,0016
ACP +	50	5500	0,4409	ACP +	50	5500	0,6258
ŠD	150	400	0,0000	SC C <sub>3/4</sub>	150	320	0,0000
ŠD	150	400	0,0000	ŠD	150	400	0,0000
<b>Celk.tl.</b>	<b>450</b>	<b>mm</b>		<b>Celk.tl.</b>	<b>450</b>	<b>mm</b>	
<b>Celkové poměrné porušení</b>			<b>0,8963</b>	<b>Celkové poměrné porušení</b>			<b>0,9974</b>

Tab. 18 – Posouzení skladby vozovky č. 2

<b>Dopravní zatížení:</b> IV.				<b>C1 = 0,5</b>		<b>Typ podloží PIII</b>	
<b>Úroveň porušení:</b> D1				<b>C2 = 0,7</b>		<b>E<sub>pl</sub> = 50 MPA</b>	
TNV <sub>0</sub> = 500				C3 = 0,5			
TNV <sub>c</sub> = 2281250				C4 = 1,0			
Skladba vozovky dle TP - D1-N-3				Alternativní návrh vozovky			
Vrstva	tl. [mm]	Er [mm]	Pom. Por. vrstvy	Vrstva	tl. [mm]	Er [MPa]	Pom. Por. vrstvy
ACO	40	5500	0,0000	ACO	40	5500	0,0000
ACL +	60	7500	0,0013	ACL +	60	7500	0,0020
ACP +	50	5500	0,5087	ACP +	50	5500	0,7472
ŠD	200	400	0,0000	SC C <sub>3/4</sub>	200	320	0,0000
MZ	200	150	0,0000	MZ	200	150	0,0000
<b>Celk.tl.</b>	<b>550</b>	<b>mm</b>		<b>Celk.tl.</b>	<b>550</b>	<b>mm</b>	
<b>Celkové poměrné porušení</b>			<b>0,5426</b>	<b>Celkové poměrné porušení</b>			<b>0,6402</b>

### Hodnocení:

Alternativní návrh vyhoví a skladba by mohla být adekvátní náhradou této konstrukce. Je vhodná například pro silnice III. třídy či obslužné místní komunikace s třídou dopravního zatížení IV. a nižší. Výšky konstrukcí byly zachovány.

## 4.12.2 Konstrukce vozovky pro třídu dopravního zatížení V.

Pro tyto vozovky jsem bral v potaz dvě možnosti návrhové úrovně porušení D1 a D2. Komunikaci s třídou D1 jsem uvažoval jako dvoupruhovou, pro třídu D2 jako jednopruhou. Tzn.  $C_1 = 0,5$  pro D1 a  $C_1 = 1$  pro D2. Porovnal jsem vždy dvě katalogové skladby.

### Třída úrovně porušení D1

Tab. 19 – Posouzení skladby vozovky č. 3

<b>Dopravní zatížení:</b>	V.	<b>C1 = 0,5</b>	<b>Typ podloží PIII</b>				
<b>Úroveň porušení:</b>	D1	<b>C2 = 0,7</b>	<b>E<sub>pl</sub> = 50 MPA</b>				
<b>TNV<sub>0</sub> = 100</b>		<b>C3 = 0,5</b>					
<b>TNV<sub>c</sub> = 456250</b>		<b>C4 = 1,0</b>					
Skladba vozovky dle TP - D1-N-2				Alternativní návrh vozovky			
Vrstva	tl. [mm]	Er [mm]	Pom. Por. vrstvy	Vrstva	tl. [mm]	Er [MPa]	Pom. Por. vrstvy
ACO	40	5500	0,0000	ACO	40	5500	0,0000
ACP +	70	5500	0,2652	ACP +	70	5500	0,4243
ŠD	150	400	0,0000	SC C <sub>3/4</sub>	150	320	0,0000
ŠD	150	400	0,0000	ŠD	150	400	0,0000
<b>Celk.tl. 410 mm</b>				<b>Celk.tl. 410 mm</b>			
<b>Celkové poměrné porušení 0,6935</b>				<b>Celkové poměrné porušení 0,8095</b>			

Tab. 20 – Posouzení skladby vozovky č. 4

<b>Dopravní zatížení:</b>	V.	<b>C1 = 0,5</b>	<b>Typ podloží PIII</b>				
<b>Úroveň porušení:</b>	D1	<b>C2 = 0,7</b>	<b>E<sub>pl</sub> = 50 MPA</b>				
<b>TNV<sub>0</sub> = 100</b>		<b>C3 = 0,5</b>					
<b>TNV<sub>c</sub> = 456250</b>		<b>C4 = 1,0</b>					
Skladba vozovky dle TP - D1-N-3				Alternativní návrh vozovky			
Vrstva	tl. [mm]	Er [mm]	Pom. Por. vrstvy	Vrstva	tl. [mm]	Er [MPa]	Pom. Por. vrstvy
ACO	40	5500	0,0000	ACO	40	5500	0,0000
ACP +	70	5500	0,4504	ACP +	70	5500	0,6985
ŠD	150	400	0,0000	SC C <sub>3/4</sub>	150	320	0,0000
MZ	200	150	0,0000	MZ	200	150	0,0000
<b>Celk.tl. 460 mm</b>				<b>Celk.tl. 460 mm</b>			
<b>Celkové poměrné porušení 0,8125</b>				<b>Celkové poměrné porušení 0,9584</b>			

### Hodnocení:

Alternativní návrh pro třídu potušení D1 vyhoví. Alternativa by mohla být adekvátní náhradou například pro dvoupruhové silnice III. třídy či obslužné místní komunikace s třídou dopravního zatížení V. a nižší. Výšky konstrukcí byly zachovány.

## Třída úrovně porušení D2

Tab. 21 – Posouzení skladby vozovky č. 5

Dopravní zatížení:	V.	C1 = 1,0	Typ podloží PIII				
Úroveň porušení:	D2	C2 = 0,7	E <sub>pl</sub> = 50 MPA				
TNV <sub>0</sub> =	100	C3 = 0,5					
TNV <sub>c</sub> =	456250	C4 = 1,0					
Skladba vozovky dle TP - D1-N-2				Alternativní návrh vozovky			
Vrstva	tl. [mm]	Er [mm]	Pom. Por. vrstvy	Vrstva	tl. [mm]	Er [MPa]	Pom. Por. vrstvy
ACO	40	5500	0,0000	ACO	40	5500	0,0000
ACP +	70	5500	0,3433	ACP +	70	5500	0,5492
ŠD	150	400	0,0000	SC C <sub>3/4</sub>	150	320	0,0000
ŠD	150	400	0,0000	ŠD	150	400	0,0000
Celk.tl.	410 mm			Celk.tl.	410 mm		
Celkové poměrné porušení			0,7320	Celkové poměrné porušení			0,8544

Tab. 22 – Posouzení skladby vozovky č. 6

Dopravní zatížení:	V.	C1 = 1,0	Typ podloží PIII				
Úroveň porušení:	D2	C2 = 0,7	E <sub>pl</sub> = 50 MPA				
TNV <sub>0</sub> =	100	C3 = 0,5					
TNV <sub>c</sub> =	456250	C4 = 1,0					
Skladba vozovky dle TP - D1-N-3				Alternativní návrh vozovky			
Vrstva	tl. [mm]	Er [mm]	Pom. Por. vrstvy	Vrstva	tl. [mm]	Er [MPa]	Pom. Por. vrstvy
ACO	40	5500	0,0000	ACO	40	5500	0,0000
ACP +	70	5500	0,5830	ACP +	70	5500	0,9041
ŠD	150	400	0,0000	SC C <sub>3/4</sub>	150	320	0,0000
MZ	200	150	0,0000	MZ	200	150	0,0000
Celk.tl.	460 mm			Celk.tl.	460 mm		
Celkové poměrné porušení			0,8576	Celkové poměrné porušení			1,0116
Skladba vozovky dle TP - D1-N-3				Alternativní návrh vozovky č.2			
Vrstva	tl. [mm]	Er [mm]	Pom. Por. vrstvy	Vrstva	tl. [mm]	Er [MPa]	Pom. Por. vrstvy
ACO	40	5500	0,0000	ACO	40	5500	0,0000
ACP +	70	5500	0,5830	ACP +	70	5500	0,6831
ŠD	150	400	0,0000	SC C <sub>3/4</sub>	200	320	0,0000
MZ	200	150	0,0000	MZ	200	150	0,0000
Celk.tl.	460 mm			Celk.tl.	510 mm		
Celkové poměrné porušení			0,8576	Celkové poměrné porušení			0,5102

### Hodnocení:

Alternativní návrh skladby vozovky č. 5 vyhoví, alternativní návrh č.6 o stejné konstrukční výšce již ne. V případě navýšení výšky stmelené vrstvy poté s rezervou vyhoví. Konstrukce by mohly být adekvátní náhradou například pro jednopruhové obslužné a účelové místní komunikace či odstavné či parkovací plochy s třídou dopravního zatížení V. a nižší.

### 4.12.3 Konstrukce vozovky pro třídu dopravního zatížení VI.

Pro tyto vozovky jsem uvažoval návrhovou úroveň porušení D2 a komunikaci jako jednopruhovou, tzn.  $C1 = 1,0$ . Porovnal jsem tři katalogové skladby.

Tab. 23 – Posouzení skladby vozovky č. 7

<b>Dopravní zatížení:</b>	VI.	<b>C1 = 1,0</b>	<b>Typ podloží PIII</b>				
<b>Úroveň porušení:</b>	D2	<b>C2 = 0,7</b>	<b><math>E_{pl} = 50</math> MPA</b>				
<b>TNV<sub>0</sub> = 15</b>		<b>C3 = 0,5</b>					
<b>TNV<sub>c</sub> = 136875</b>		<b>C4 = 1,0</b>					
Skladba vozovky dle TP - D1-N-2				Alternativní návrh vozovky			
Vrstva	tl. [mm]	Er [mm]	Pom. Por. vrstvy	Vrstva	tl. [mm]	Er [MPa]	Pom. Por. vrstvy
ACO	40	5500	0,0000	ACO	40	5500	0,0000
ACP +	50	5500	0,0799	ACP +	70	5500	0,1391
ŠD	150	400	0,0000	SC C <sub>3/4</sub>	150	320	0,0000
ŠD	150	400	0,0000	ŠD	150	400	0,0000
<b>Celk.tl. 390 mm</b>				<b>Celk.tl. 390 mm</b>			
<b>Celkové poměrné porušení 0,2108</b>				<b>Celkové poměrné porušení 0,2530</b>			

Tab. 24 – Posouzení skladby vozovky č. 8

<b>Dopravní zatížení:</b>	VI.	<b>C1 = 1,0</b>	<b>Typ podloží PIII</b>				
<b>Úroveň porušení:</b>	D2	<b>C2 = 0,7</b>	<b><math>E_{pl} = 50</math> MPA</b>				
<b>TNV<sub>0</sub> = 15</b>		<b>C3 = 0,5</b>					
<b>TNV<sub>c</sub> = 136875</b>		<b>C4 = 1,0</b>					
Skladba vozovky dle TP - D1-N-3				Alternativní návrh vozovky			
Vrstva	tl. [mm]	Er [mm]	Pom. Por. vrstvy	Vrstva	tl. [mm]	Er [MPa]	Pom. Por. vrstvy
ACO	40	5500	0,0000	ACO	40	5500	0,0000
ACP +	50	5500	0,1577	ACP +	70	5500	0,2665
ŠD	150	400	0,0000	SC C <sub>3/4</sub>	150	320	0,0000
MZ	150	400	0,0000	MZ	150	400	0,0000
<b>Celk.tl. 390 mm</b>				<b>Celk.tl. 390 mm</b>			
<b>Celkové poměrné porušení 0,4839</b>				<b>Celkové poměrné porušení 0,5898</b>			



Tab. 25 – Posouzení skladby vozovky č. 9

<b>Dopravní zatížení:</b>	VI.	<b>C1 = 1,0</b>	<b>Typ podloží PIII</b>
<b>Úroveň porušení:</b>	D2	<b>C2 = 0,7</b>	<b>E<sub>pl</sub> = 50 MPA</b>
<b>TNV<sub>0</sub> = 15</b>		<b>C3 = 0,5</b>	
<b>TNV<sub>c</sub> = 136875</b>		<b>C4 = 1,0</b>	
<b>Skladba vozovky dle TP - D1-N-8</b>			
<b>Vrstva</b>	<b>tl. [mm]</b>	<b>E<sub>r</sub> [mm]</b>	<b>Pom. Por. vrstvy</b>
<b>ACO</b>	40	5500	0,0000
<b>ACP +</b>	70	5500	0,0064
<b>SC C<sub>1,5/2</sub></b>	150	1000	0,0000
<b>MZ</b>	150	150	0,0000
<b>Celk.tl.</b>	<b>390</b>	<b>mm</b>	
<b>Celkové poměrné porušení</b>			<b>0,1622</b>
<b>Alternativní návrh vozovky</b>			
<b>Vrstva</b>	<b>tl. [mm]</b>	<b>E<sub>r</sub> [MPa]</b>	<b>Pom. Por. vrstvy</b>
<b>ACO</b>	40	5500	0,0000
<b>ACP +</b>	70	5500	0,2665
<b>SC C<sub>3/4</sub></b>	150	320	0,0000
<b>MZ</b>	150	150	0,0000
<b>Celk.tl.</b>	<b>390</b>	<b>mm</b>	
<b>Celkové poměrné porušení</b>			<b>0,5898</b>

#### Hodnocení:

Všechny tři alternativní návrhy vyhoví a vrstvy jsou o stejných konstrukčních výškách. Původní návrh D1-N-2 a D1-N-8 dle TP vychází výrazně předimenzovaně. Konstrukce by mohly být použité například pro jednopruhové obslužné či účelové místní komunikace nebo také jako odstavné či parkovací plochy s třídou dopravního zatížení VI.

#### 4.12.4 Porovnání s reálně použitou konstrukcí

V této kapitole jsem posoudil skladbu vozovky, která byla použita firmou Kareta s.r.o. jako odkladová plocha při průmyslové výrobě. Zkusil jsem navrhnout její alternativu s využitím zkoušené směsi. Uvažoval jsem typ podloží opět PIII, třídu dopravního zatížení V. se zatížením pohybujícím se v jednom pruhu a od toho se odvíjející se následující součinitele: C1, C2 a C3 = 1,0; C4 = 2,0.

Použitá konstrukce vozovky vychází ze skladby D1-N-2 dle TP 170.

Tab. 26 – Posouzení reálně použité skladby vozovky

<b>Dopravní zatížení:</b>	V.	<b>C1 = 1,0</b>	<b>Typ podloží PIII</b>				
<b>Úroveň porušení:</b>	D2	<b>C2 = 1,0</b>	<b>E<sub>pl</sub> = 50 MPA</b>				
<b>TNV<sub>0</sub> = 100</b>		<b>C3 = 1,0</b>					
<b>TNV<sub>c</sub> = 456250</b>		<b>C4 = 2,0</b>					
<b>Použitá skladba vozovky</b>				<b>Alternativní návrh vozovky</b>			
Vrstva	tl. [mm]	Er [mm]	Pom. Por. vrstvy	Vrstva	tl. [mm]	Er [MPa]	Pom. Por. vrstvy
<b>ACO</b>	40	5500	0,0000	<b>ACO</b>	40	5500	0,0000
<b>ACP +</b>	80	5500	0,8851	<b>ACP +</b>	70	5500	<b>1,4482</b>
<b>ŠD</b>	200	400	0,0000	<b>SC C<sub>3/4</sub></b>	200	320	0,0000
<b>ŠD</b>	300	400	0,0000	<b>ŠD</b>	300	400	0,0000
<b>Celk.tl.</b>	<b>620</b>	<b>mm</b>		<b>Celk.tl.</b>	<b>620</b>	<b>mm</b>	
<b>Celkové poměrné porušení</b>			<b>0,2200</b>	<b>Celkové poměrné porušení</b>			<b>0,2642</b>

#### Hodnocení:

Alternativní konstrukce nevyhoví, použitá směs není dostatečné tuhosti a díky ní dochází k porušení podkladní asfaltové vrstvy. Při této úrovni dopravního zatížení a tohoto typu skladby vozovky není směs vhodná k použití. Řešením by bylo přidání asfaltové vrstvy, ale nebylo by ekonomicky výhodné.

## 5 ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce bylo zjištění reálného použití konkrétního materiálu z lomu firmy Kareta s.r.o. v Ondřejovicích jako materiálu pro směsi do podkladní vrstvy vozovek pozemních komunikací.

V teoretické části jsem přehledně shrnul základní informace ohledně podkladních vrstev, popsal jejich požadavky na materiál a uvedl výhody a nevýhody použití. Dále jsem detailně uvedl jednotlivé požadavky norem na provádění stmelovaných vrstev cementem.

V praktické části jsem navrhl a stanovil receptury směsí stmelovaných cementem za použití konkrétních materiálů, u kterých jsem poté ověřil všechny důležité návrhové parametry podle příslušných normových předpisů.

Jako hlavní materiál mých směsí bylo použito kamenivo frakce 0/2. Použití těchto jemnějších frakcí již nyní norma povoluje a mnou použitý materiál požadavky splňuje. V případě přidání hrubších frakcí se musí směs kameniva posoudit podle jiných požadavků, které předpokládají vyšší obsah větších zrn a mají přísnější kritéria na obsah jemných částic. Směsi obsahující tato větší zrna proto normové požadavky nesplňují (konkrétně na typ směsi kameniva č. 5 dle ČSN EN 14227-1), i když s nijk zásadním rozdílem menším jak 2 % od limitu. [12]

Směsi byly poté ověřeny pomocí předepsaných průkazných zkoušek pro směsi stmelované cementem na zkušebních tělesech.

Cílenou minimální pevností směsí je hranice 2 MPa. Ta je klíčová k tomu, aby tyto směsi byly použitelné a mohly tak nahradit kvalitnější a ekonomicky méně výhodnější kamenivo, které se pro stmelované vrstvy používá. Zároveň tím také splňují normové požadavky na použití ve vozovce. Od třídy pevnosti  $C_{1,5/2}$  je možné tyto materiály používat bez omezení jako spodní podkladní vrstvy pro všechny třídy dopravního zatížení, jako horní podkladní vrstvy je lze použít pouze pro třídu dopravního zatížení III. a nižšího. Od třídy pevnosti  $C_{3/4}$  je použití možné pro horní i spodní podkladní vrstvu bez omezení. [9]

Přehled tříd pevnosti směsí a průměrné dosažené pevnosti:

- |                                 |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| • Směs A – 0/2 + 4 % CEM        | $C_{1,5/2}$ ; $R_C = 3,36$ MPa |
| • Směs B – 0/2 + 6 % CEM        | $C_{3/4}$ ; $R_C = 4,72$ MPa   |
| • Směs C – 0/2 + 8 % CEM        | $C_{2,3/3}$ ; $R_C = 4,37$ MPa |
| • Směs D – 0/2 + 0/16 + 6 % CEM | $C_{3/4}$ ; $R_C = 4,61$ MPa   |
| • Směs E – 0/2 + 0/16 + 6 % CEM | $C_{2,3/3}$ ; $R_C = 4,07$ MPa |

Všechny směsi tuto hranici 2 MPa překročily a jsou tudíž pro tyto účely vhodné. Jediným limitujícím požadavkem pro směs A je odolnost proti účinku mrazu a vodě, kterou nesplňuje, a tudíž dle platných předpisů nemůže být použita. Ostatní směsi tomuto požadavku vyhověly.

Předpoklad možného využití by tedy mohly tyto směsi najít u vozovek s nižší třídou dopravního zatížení (IV až VI), nebo by také mohly být použité do podkladních vrstev chodníků a zpevněných ploch pro parkoviště a různé odstavné a skladovací plochy, což potvrzuje i TP 170. [9] [10]

Kromě vlastností směsí jsem vzájemně porovnal i finanční hledisko. Nejlepší vlastnosti směsí vykazují při obsahu cementu 6 %. Právě obsah cementu je klíčovým faktorem a zásadně ovlivňuje vlastnosti směsí, zejména odolnost proti mrazu a vodě, a v poslední řadě hlavně jejich cenu. Jako nejlépe použitelná varianta se jeví směs B.

Dále jsem se pokusil experimentálně stanovit modul pružnosti zkoumaných směsí. Z důvodu problematiky stanovování dat věrohodnosti výstupu jsem stanovil pouze modul pružnosti pro směs B. Dá se ale předpokládat, že i ostatní směsi budou dosahovat podobných hodnot, protože se receptury ani stanovené mechanické vlastnosti směsí výrazně neliší. Z výsledků směsí B můžeme uvažovat hodnotu modulu pružnosti  $E_r$  v rozsahu 250 až 350 MPa.

Typické návrhové moduly pružnosti podkladních vrstev dle TP 170 jsou:

Štěrkopísek (ŠP)	120 MPa
Mechanicky zpevněná zemina (MZ)	150 MPa
Štěrkodrt (ŠD)	400 MPa
Vibrovaný štěrk (VŠ)	500 MPa
Mechanicky zpevněné kamenivo (MZK)	600 MPa

Z porovnání je zřejmé, že mnou otestované směsi mají potenciál nahradit některé nestmelené vrstvy v podkladních vrstvách vozovek. Například by mohly nahradit podkladní vrstvy zhotovované ze štěrkodrti ŠD<sub>B</sub> s nižšími požadavky na zrnitost. Ty jsou obvykle zhotovovány ze směsi drceného kameniva frakce 0/32 či 0/63.

Cena veškerého materiálu potřebného k výrobě směsí B vychází lehce nákladněji než cena nestmelené vrstvy z frakce 0/32, konkrétně o 8 %. Porovnání ceny s vrstvami ze štěrkodrti frakce 0/63 vychází totožně. Pokud bychom se ale na tyto jemné frakce 0/2 dívali z pohledu, že pro nás mají nulovou finanční hodnotu, tak náklady na materiál budou činit pouze cenu použitého cementu a záměsové vody. Při tomto úhlu pohledu na směsi B v porovnání s vrstvami zhotovených z kameniva frakce 0/32 či 0/63 činí 50 % ceny.

Finanční analýza je počítána pro konkrétní zdroj kameniva a je třeba ji brát jako orientační. Ceny se v průběhu času mohou měnit a jsou aktuální k datu zpracování této práce (leden 2019). Výslednou cenu směsí a cenovou konkurenceschopnost vůči ostatním materiálům může také ovlivnit cena prováděcích prací, kde se musí zohlednit rozdílná pracnost zhotovování oproti jiným typům vrstev. K porovnání tohoto hlediska by bylo vhodné udělat detailní návrh skladeb vozovky, nacenění provádění a následné porovnání s různými variantami konstrukcí.

---

V závěru mé praktické části diplomové práce jsem ověřil možné využití Směsi B jakožto náhradu vrstev štěrkodrti v podkladních vrstvách vozovek. Vybral jsem konstrukce vozovek dle katalogových listů TP 170 a vrstvy štěrkodrti jsem nahradil mnou navrženou směsí B. Výsledkem je ověření, že by tyto směsi mohly najít využití u dříve předpokládaných komunikací s nižší třídou dopravního zatížení IV. až VI, jako jsou silnice třetích tříd a také jako místní obslužné a účelové komunikace. Případně by mohly být použité do podkladních vrstev chodníků a zpevněných ploch pro parkoviště a různé odstavné a skladovací plochy splňující požadavky dopravního zatížení.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VARAUS, Michal. *Prezentace – Nestmelené podkladní vrstvy*. Brno : VUT Brno, 2017.
- [2] ZAJÍČEK, Jan. *Technologie stavby vozovek*. Praha: ČKAIT, 2014. 392 s. ISBN 978-80-87438-59-6.
- [3] Bc. Vojtěch Kotas. *Experimentální zkoušení modulu pružnosti podkladních vrstev vozovek*. Brno, 2017. 63 s., 52 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
- [4] VARAUS, Michal. *Prezentace – Stmelené prolévané vrstvy*. Brno : VUT Brno, 2017.
- [5] VARAUS, Michal. *Prezentace – Prolévané vrstvy*. Brno : VUT Brno, 2017.
- [6] Kamenivo [Online] Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. [Citace: 3. 10 2018.] Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/kamenivo.html#pojmy>.
- [7] SAHU, Anil, S. Kumar, A.K. Sachan, A.K. Crushed stone waste as fine aggregate for concrete. *Indian Concrete Journal*. 2003. 77. s. 845-848.
- [8] TATARANNI, Piergiorgio, SANGIORGI, Cesare, SIMONE, Andrea, VAGNALI, Valeria, LANTIERI, Claudio, DONDI, Giulio. A laboratory and field study on 100% Recycled Cement Bound Mixture for base layers. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2017
- [9] ČSN 73 6124-1. *Stavba vozovek – Vrstvy ze směsí stmelených hydraulickými pojivy – Část 1: Provádění a kontrola shody*. Praha: Český normalizační institut, 2016
- [10] Technické podmínky TP 170. *Navrhování vozovek pozemních komunikací*. 2010
- [11] ČSN Online [online]. Česká agentura pro standardizaci. ©2017 [cit. 20.11.2018]. Dostupné z: <http://www.agentura-cas.cz/csn-online>
- [12] ČSN EN 14227-1. *Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace - Část 1: Směsi stmelené cementem*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [13] ČSN EN 933-1. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor*
- [14] ČSN EN 13286-41. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy*.
- [15] ČSN EN 13286-50. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 50: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí Proctorova zařízení nebo vibračního stolu*

[16] ČSN EN 13286-2. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Proctorova zkouška*

[17] ČSN EN 13286-42. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – část 42: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy*

[18] ČSN EN 13286-7. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 7: Zkouška nestmelených směsí cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji*

[19] KARETA, s.r.o. *Všeobecné obchodní podmínky dodávek kameniva*. Bruntál, 2017

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

$A_c$	zatěžovací plocha zkušebního tělesa
CEM	cement
D	průměr zkušebního tělesa
E	specifická energie potřebná k hutnění
$E_r$	modul pružnosti
F	zatěžovací síla
H	výška zkušebního tělesa
$R_c$	pevnost v tlaku
$R_{it}$	pevnost v příčném tahu
ŠD	štěrkodeř
$TNV_k$	průměrná denní intenzita těžkých nákladních vozidel
$w_{opt}$	optimální vlhkost směsi
$\Delta w$	přibližný úbytek vlhkosti po zhutnění
$\rho_d$	suchá objemová hmotnost materiálu
$\sigma_1$	svislé napětí
$\sigma_3$	komorový tlak

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Mohrova kružnice pro stmelené směsi [4] .....	13
Obr. 2 - <i>Přehled Struktury norem na stmelené vrstvy</i> .....	15
Obr. 3 - Diagram fází návrhu směsí .....	22
Obr. 4 - Ruční prosévání a vážení zůstatku materiálu na síť .....	24
Obr. 5 - Materiál zachycený na jednotlivých sítích .....	24
Obr. 6 - Příprava směsi pro Proctorovu zkoušku .....	31
<i>Obr. 7 - Vzorky vlhkosti z Proctorovy zkoušky</i> .....	32
Obr. 8 - Příprava směsi materiálu při výrobě zkušebních těles .....	35
Obr. 9 - Příprava záměsi při výrobě zkušebních těles .....	36
Obr. 10 - Zkouška pevnosti v tlaku v lisu .....	38
Obr. 11 - Zkouška pevnosti v příčném tahu v lisu .....	40
Obr. 12 - Porušení vzorku po zkoušce v příčném tahu .....	41
<i>Obr. 13 - Vzorky po mrazových cyklech před zkouškou</i> .....	43
Obr. 14 - Vzorek směsi A po mrazových cyklech před zkouškou .....	44
Obr. 15 - Vzorek směsi B po mrazových cyklech před zkouškou .....	44
Obr. 16 - Vzorek směsi C po mrazových cyklech před zkouškou .....	44
Obr. 17 - Zatěžovací schéma .....	47
Obr. 18 - Průběh měření v triaxiálním přístroji .....	47
Obr. 19 - Triaxiální komora a usazování vzorku v komoře .....	48

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Užití směsí stmelěných hydraulickými pojivy ve vozovce [9] .....	14
Tab. 2 - Minimální obsah pojiva [12] .....	17
Tab. 3 - Požadavky na zrnitost kameniva – typ 3 [12] .....	18
Tab. 4 - Zrnitost směsí kameniva – typ 5 [12] .....	19
Tab. 5 - Klasifikace podle pevnosti v tlaku [12] .....	20
Tab. 6 - Třídy pevnosti směsí doporučené ČSN 736124 - 1 [9] .....	20
Tab. 7 - Zrnitost kameniva pro třídu pevnosti $C_{1,5/2}$ a $C_{3/4}$ podle ČSN 73 6124-1 [9] .....	29
Tab. 8 - Výsledky zkoušky pevnosti v tlaku .....	39
Tab. 9 - Výsledky zkoušky pevnosti v příčném tahu .....	42
Tab. 10 - Výsledky zkoušky odolnosti proti mrazu a vodě .....	45
Tab. 11 - Úroveň napětí pro pružné chování, Metoda B .....	49
Tab. 12 - Přehled výsledných hodnot $E_r$ pro směs B .....	54
Tab. 13 Přehled hodnot zkoumaných mechanických vlastností .....	55
Tab. 14 - Přehled ostatních vlastností směsí .....	56
Tab. 15 - Finanční analýza směsí .....	57
Tab. 16 - Finanční analýza porovnání se šterkodrtí .....	58



Tab. 17 – Posouzení skladby vozovky č. 1 .....	60
Tab. 18 – Posouzení skladby vozovky č. 2 .....	60
Tab. 19 – Posouzení skladby vozovky č. 3 .....	61
Tab. 20 – Posouzení skladby vozovky č. 4 .....	61
Tab. 21 – Posouzení skladby vozovky č. 5 .....	62
Tab. 22 – Posouzení skladby vozovky č. 6 .....	62
Tab. 23 – Posouzení skladby vozovky č. 7 .....	63
Tab. 24 – Posouzení skladby vozovky č. 8 .....	63
Tab. 25 – Posouzení skladby vozovky č. 9 .....	64
Tab. 26 – Posouzení reálně použité skladby vozovky.....	65

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Porovnání křivek zrnitosti s výsledky ročních kontrolních zkoušek.....	25
Graf 2 - Křivky zrnitosti směsí frakcí.....	26
Graf 3 - Porovnání zrnitosti směsí kameniva s požadavky normy ČSN EN 14227-1- typ 3 .....	27
Graf 4 - Porovnání zrnitosti směsí kameniva s požadavky normy ČSN EN 14227-1 – typ 5 .....	28
Graf 5 - Křivky zrnitosti směsí a porovnání s požadavky .....	29
Graf 6 - Závislost vlhkosti a objemové hmotnosti $p_d$ .....	34
Graf 7- Úbytek vlhkostí záměsí .....	34
Graf 8 - Výsledné hodnoty modulu pružnosti $E_r$ směsi B .....	53

## SEZNAM ROVNIC

Rovnice č. 1 - Specifická energie Proctorovy zkoušky .....	32
Rovnice č. 2 - Pevnost v tlaku $R_c$ .....	39
Rovnice č. 3 - Pevnost v příčném tahu $R_{it}$ .....	41
Rovnice č. 4 - Pevnost v tlaku $R_c$ .....	45
Rovnice č. 5 – Poměrné přetvoření tělesa při zatížení .....	50
Rovnice č. 6 – Poměrné přetvoření tělesa při odtížení.....	50
Rovnice č. 7 – Svislé napětí.....	50
Rovnice č. 8 – Pružné poměrné přetvoření.....	50
Rovnice č. 9 – Modul pružnosti.....	50
Rovnice č. 10 – Deformace tělesa pro konkrétní senzor.....	51
Rovnice č. 11 – Průměrná osová deformace .....	51
Rovnice č. 12 – Svislé zatížení.....	51
Rovnice č. 13 – Pružné poměrné přetvoření.....	51
Rovnice č. 14 – Deviátor napětí.....	52
Rovnice č. 15 – Deviátor napětí.....	52

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Zrnitost materiálů

Příloha B – Proctorova zkouška

Příloha C – Protokoly zkoušek v lisu

Příloha D – Protokol o stanovení modulu pružnosti – směs B



FAKULTA

STAVEBNÍ ústav

pozemních komunikací

---

# PŘÍLOHA A

## ZRNITOST MATERIÁLŮ

## SEZNAM PROTOKOLŮ:

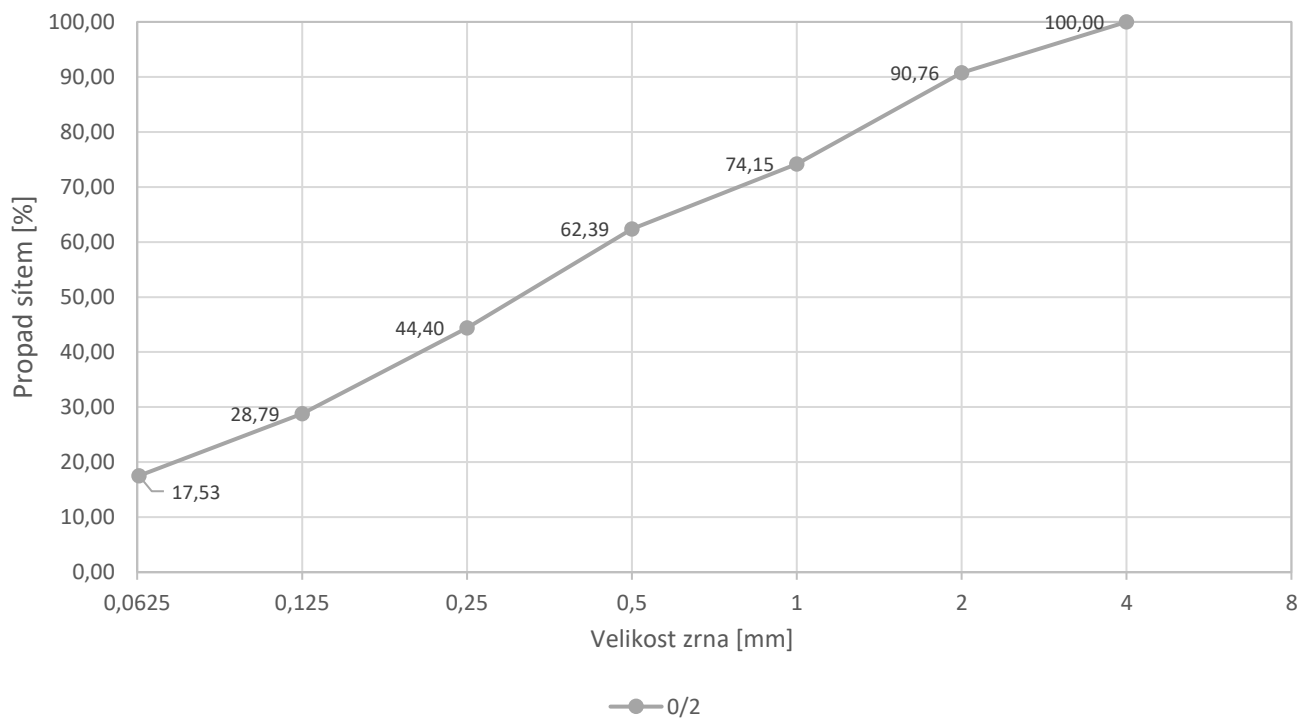
1	Protokol o stanovení zrnitosti materiálu frakce 0/2 .....	3
2	Protokol o stanovení zrnitosti materiálu frakce 0/16 .....	4
3	Protokol o stanovení zrnitosti materiálu frakce 0/32 .....	5
4	Porovnání křivek zrnitosti s výsledky ročních kontrolních zkoušek .....	6
5	Protokol o stanovení poměru jednotlivých frakcí směsi D .....	7
6	Protokol o stanovení poměru jednotlivých frakcí směsi E .....	8
7	Porovnání zrnitosti směsí kameniva s požadavky normy ČSN EN 14227-1 .....	9
8	Porovnání zrnitosti směsí kameniva s požadavky normy ČSN 736124 - 1 .....	10

### Protokol o stanovení zrnitosti materiálu - Sítový rozbor

Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 933 - 1  
 Materiál: drobné přírodní drcené kamenivo frakce 0/2, kamenolom Ondřejovice  
 Metoda rozboru: praní a prosévání za sucha  
 Hmotnost zkušebních navážek: 400 g

síto	navážka I.	navážka II.	průměrný zůstatek	součet hmotností na sítích	zůstatek na sítě	propad sítím
	zůstatek na sítě	zůstatek na sítě				
[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]
4	0,0	0,0	0,0	400,0	0,00	100
2	38,8	35,1	37,0	400,0	9,24	91
1	67,8	65,1	66,5	363,1	16,61	74
0,5	47,5	46,6	47,1	296,6	11,76	62
0,25	71,0	72,9	72,0	249,6	17,99	44
0,125	61,7	63,2	62,5	177,6	15,61	29
0,063	42,6	47,5	45,1	115,2	11,26	17,5
materiál na dně	70,6	69,6	70,1	70,1	17,53	0,00

Křivka zrnitosti



Datum zkoušky: 28.05.2018  
 Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

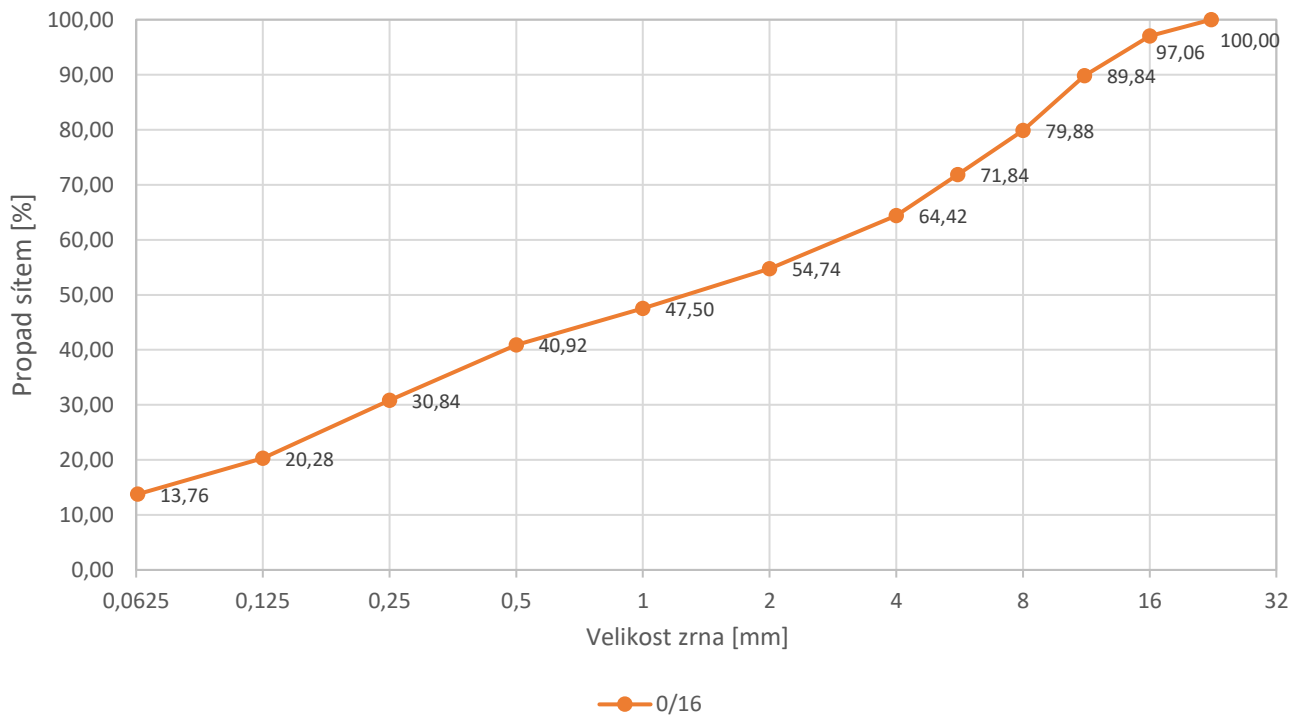


### Protokol o stanovení zrnitosti materiálu - Sítový rozbor

Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 933 - 1  
 Materiál: drobné přírodní drcené kamenivo frakce 0/16, kamenolom Ondřejovice  
 Metoda rozboru: praní a prosévání za sucha  
 Hmotnost zkušebních navážek: 500 g

síto	zůstatek na síť	součet hmotností na sítích	zůstatek na síť	propad sítím
[mm]	[g]	[g]	[%]	[%]
22,4	0	0	0	100
16	14,7	500,0	2,94	97
11,2	36,1	485,3	7,22	90
8	49,8	449,2	9,96	80
5,6	40,2	399,4	8,04	72
4	37,1	359,2	7,42	64
2	48,4	322,1	9,68	55
1	36,2	273,7	7,24	48
0,5	32,9	237,5	6,58	41
0,25	50,4	204,6	10,08	31
0,125	52,8	154,2	10,56	20
0,063	32,6	101,4	6,52	13,8
materiál na dně	68,8	68,8	13,76	0,00

Křivka zrnitosti



Datum zkoušky:  
 Zkoušku provedl:

04.06.2018  
 Bc. Adam CHLOUPEK

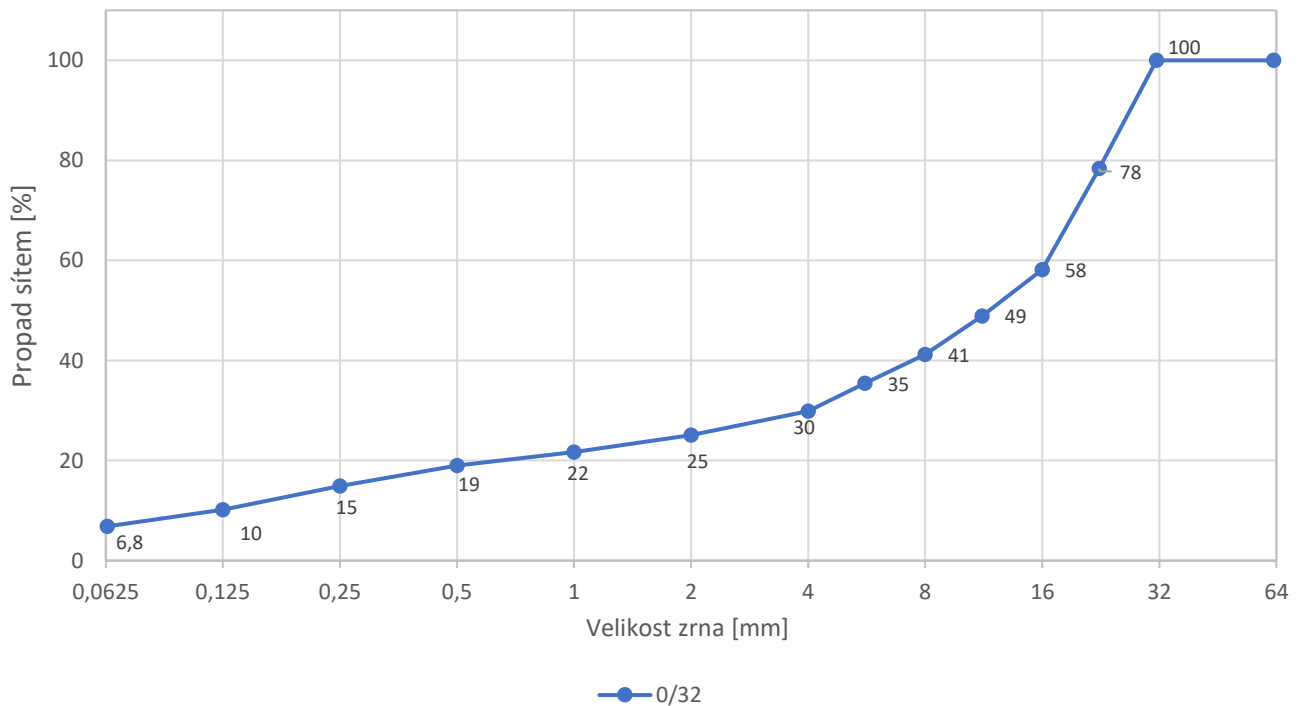
Podpis: 

### Protokol o stanovení zrnitosti materiálu - Sítový rozbor

Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 933 - 1  
 Materiál: drobné přírodní drcené kamenivo frakce 0/32, kamenolom Ondřejevce  
 Metoda rozboru: praní a prosévání za sucha  
 Hmotnost zkušebních navážek: 500 g

síto	zůstatek na sítě	součet hmotností na sítích	zůstatek na sítě	propad sítím
[mm]	[g]	[g]	[%]	[%]
63	0	500	0	100
31,5	0,0	500,0	0,00	100
22,4	108,0	500,0	21,60	78
16	101,2	392,0	20,24	58
11,2	46,2	290,8	9,24	49
8	38,5	244,6	7,70	41
5,6	29,0	206,1	5,80	35
4	27,7	177,1	5,54	30
2	24,1	149,4	4,82	25
1	16,9	125,3	3,38	22
0,5	13,4	108,4	2,68	19
0,25	20,5	95,0	4,10	15
0,125	23,7	74,5	4,74	10
0,063	16,6	50,8	3,32	6,8
materiál na dně	34,2	34,2	6,84	0,00

Křivka zrnitosti

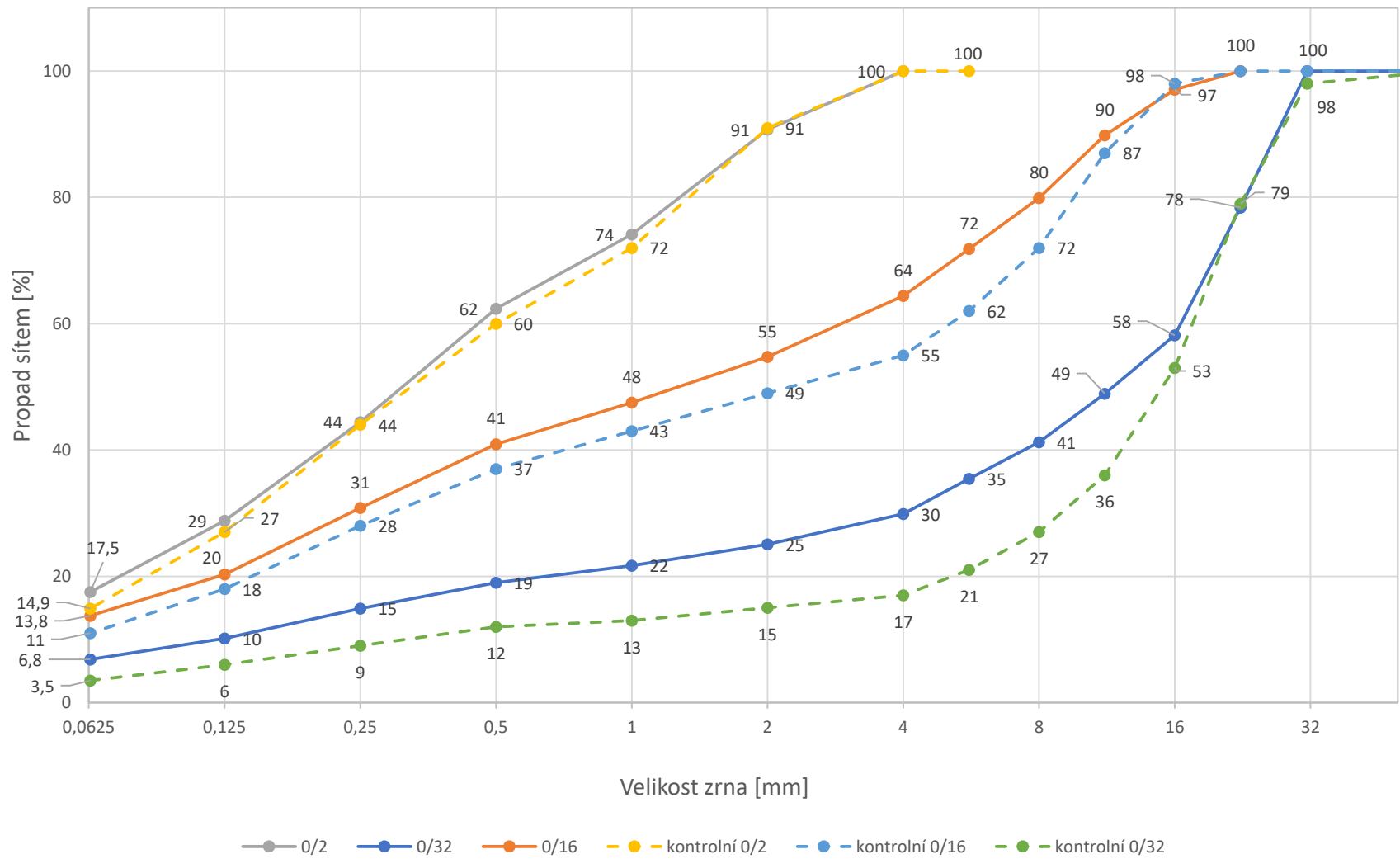


Datum zkoušky:  
Zkoušku provedl:

07.06.2018  
Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

# Porovnání křivek zrnitosti s výsledky ročních kontrolních zkoušek



Porovnání křivek zrnitosti s výsledky ročních kontrolních zkoušek



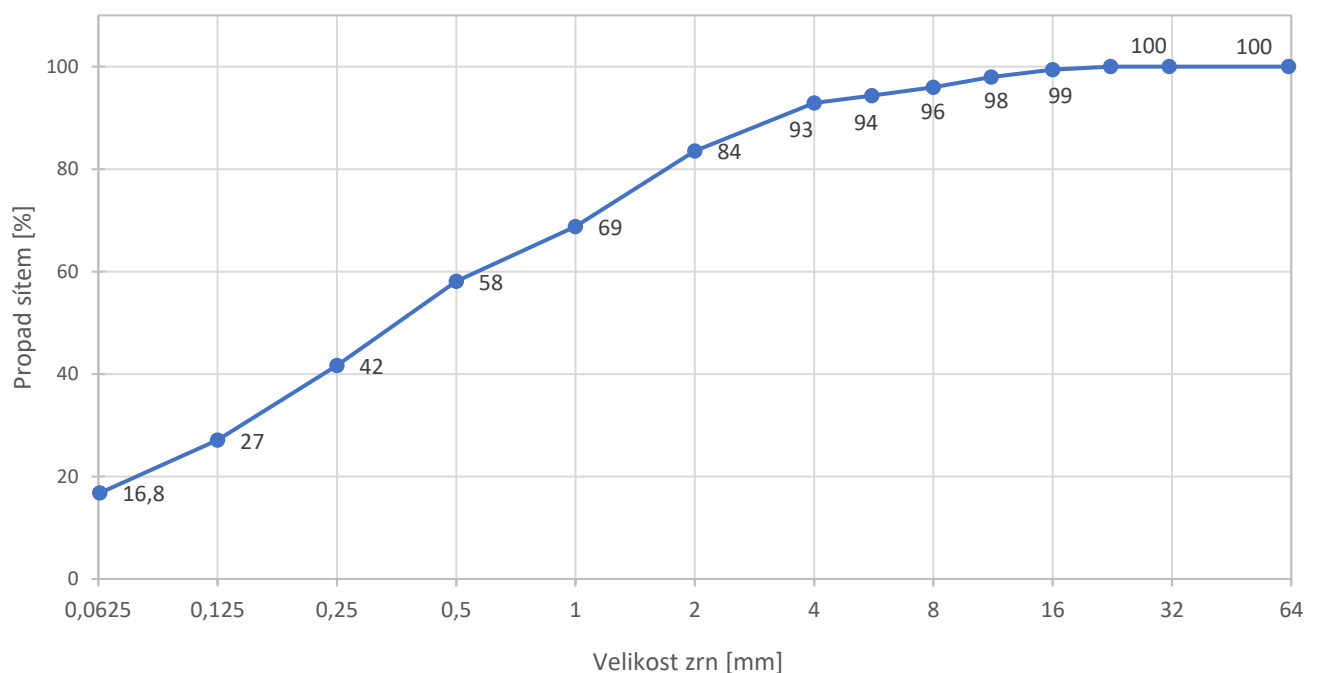
### Protokol o stanovení poměru jednotlivých frakcí směsi D

Materiál: drobné přírodní drcené kamenivo frakce 0/2 a 0/16, kamenolom Ondřejevce  
Velikost fiktivní navážky: 1000 g

síto	Poměr frakcí				SMĚS 0/2 + 0/16			
	0/2		0/16					
	zůstatek na síť	hmotnost na síť	zůstatek na síť	hmotnost na síť	hmotnost na síť	součet hmotností na síť	zůstatek na síť	propad sítem
[mm]	[%]	[g]	[%]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1000,00	0,00	100
31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1000,00	0,00	100
22,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1000,00	0,00	100
16	0,00	0,00	2,94	5,88	5,88	1000,00	0,59	99
11,2	0,00	0,00	7,22	14,44	14,44	994,12	1,44	98
8	0,00	0,00	9,96	19,92	19,92	979,68	1,99	96
5,6	0,00	0,00	8,04	16,08	16,08	959,76	1,61	94
4	0,00	0,00	7,42	14,84	14,84	943,68	1,48	93
2	9,24	73,90	9,68	19,36	93,26	928,84	9,33	84
1	16,61	132,90	7,24	14,48	147,38	835,58	14,74	69
0,5	11,76	94,10	6,58	13,16	107,26	688,20	10,73	58
0,25	17,99	143,90	10,08	20,16	164,06	580,94	16,41	42
0,125	15,61	124,90	10,56	21,12	146,02	416,88	14,60	27
0,063	11,26	90,10	6,52	13,04	103,14	270,86	10,31	16,8
materiál na dně	17,53	140,20	13,76	27,52	167,72	167,72	16,77	0,00

kontrola hmotnosti navážky:  $M_{tot} = 1000,00 \checkmark$

Křivka zrnitosti směsi



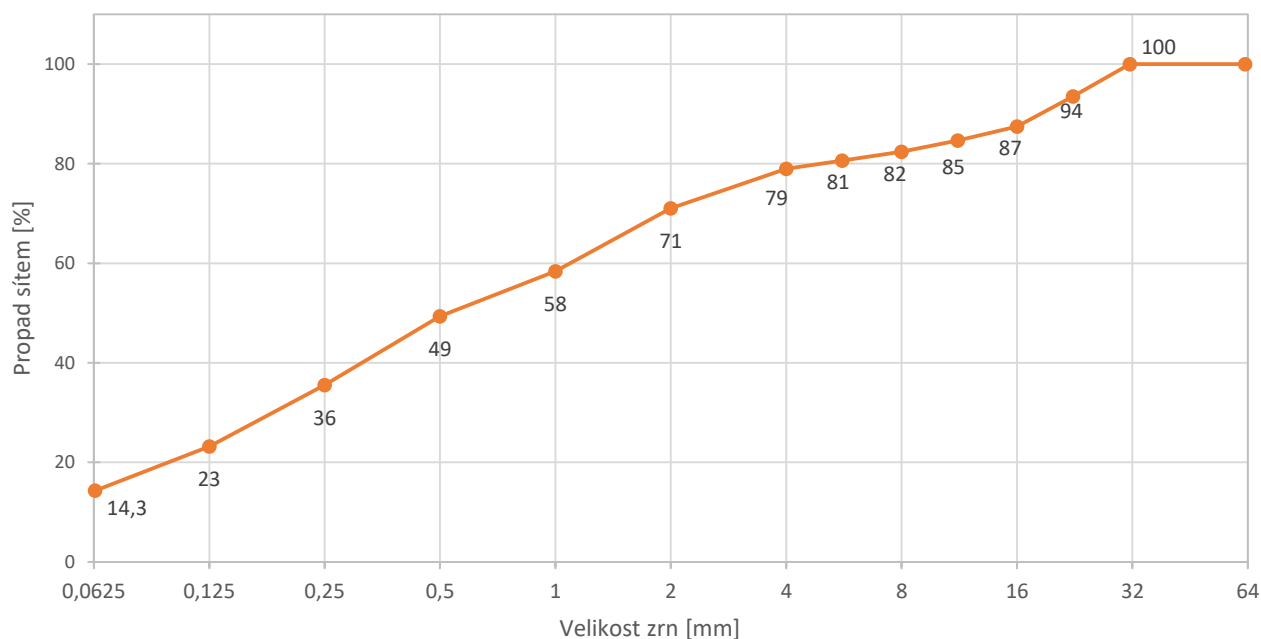
### Protokol o stanovení poměru jednotlivých frakcí směsi E

Materiál: drobné přírodní drcené kamenivo frakce 0/2 a 0/32, kamenolom Ondřejovice  
Velikost fiktivní navážky: 1000 g

síto	Poměr frakcí				SMĚS 0/2 + 0/32			
	0/2		0/32					
	zůstatek na síti	hmotnost na síti	zůstatek na síti	hmotnost na síti	hmotnost na síti	součet hmotností na síti	zůstatek na síti	propad sítem
[mm]	[%]	[g]	[%]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1000,00	0,00	100
31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1000,00	0,00	100
22,4	0,00	0,00	21,60	64,80	64,80	1000,00	6,48	94
16	0,00	0,00	20,24	60,72	60,72	935,20	6,07	87
11,2	0,00	0,00	9,24	27,72	27,72	874,48	2,77	85
8	0,00	0,00	7,70	23,10	23,10	846,76	2,31	82
5,6	0,00	0,00	5,80	17,40	17,40	823,66	1,74	81
4	0,00	0,00	5,54	16,62	16,62	806,26	1,66	79
2	9,24	64,66	4,82	14,46	79,12	789,64	7,91	71
1	16,61	116,29	3,38	10,14	126,43	710,52	12,64	58
0,5	11,76	82,34	2,68	8,04	90,38	584,09	9,04	49
0,25	17,99	125,91	4,10	12,30	138,21	493,71	13,82	36
0,125	15,61	109,29	4,74	14,22	123,51	355,50	12,35	23
0,063	11,26	78,84	3,32	9,96	88,80	231,99	8,88	14,3
materiál na dně	17,53	122,68	6,84	20,52	143,20	143,20	14,32	0,00

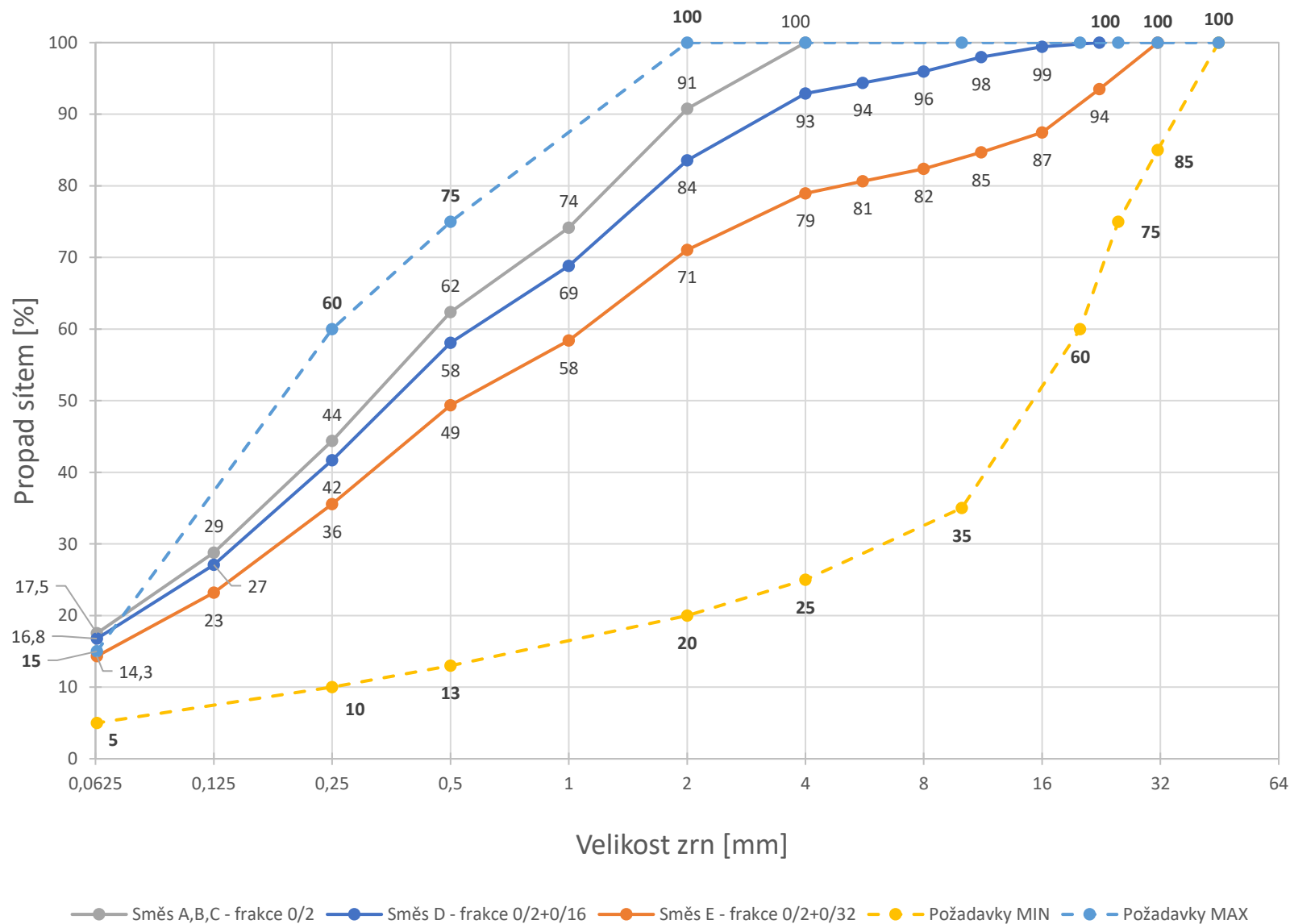
kontrola hmotnosti navážky:  $M_{tot} = 1000,00 \checkmark$

Křivka zrnitosti směsi



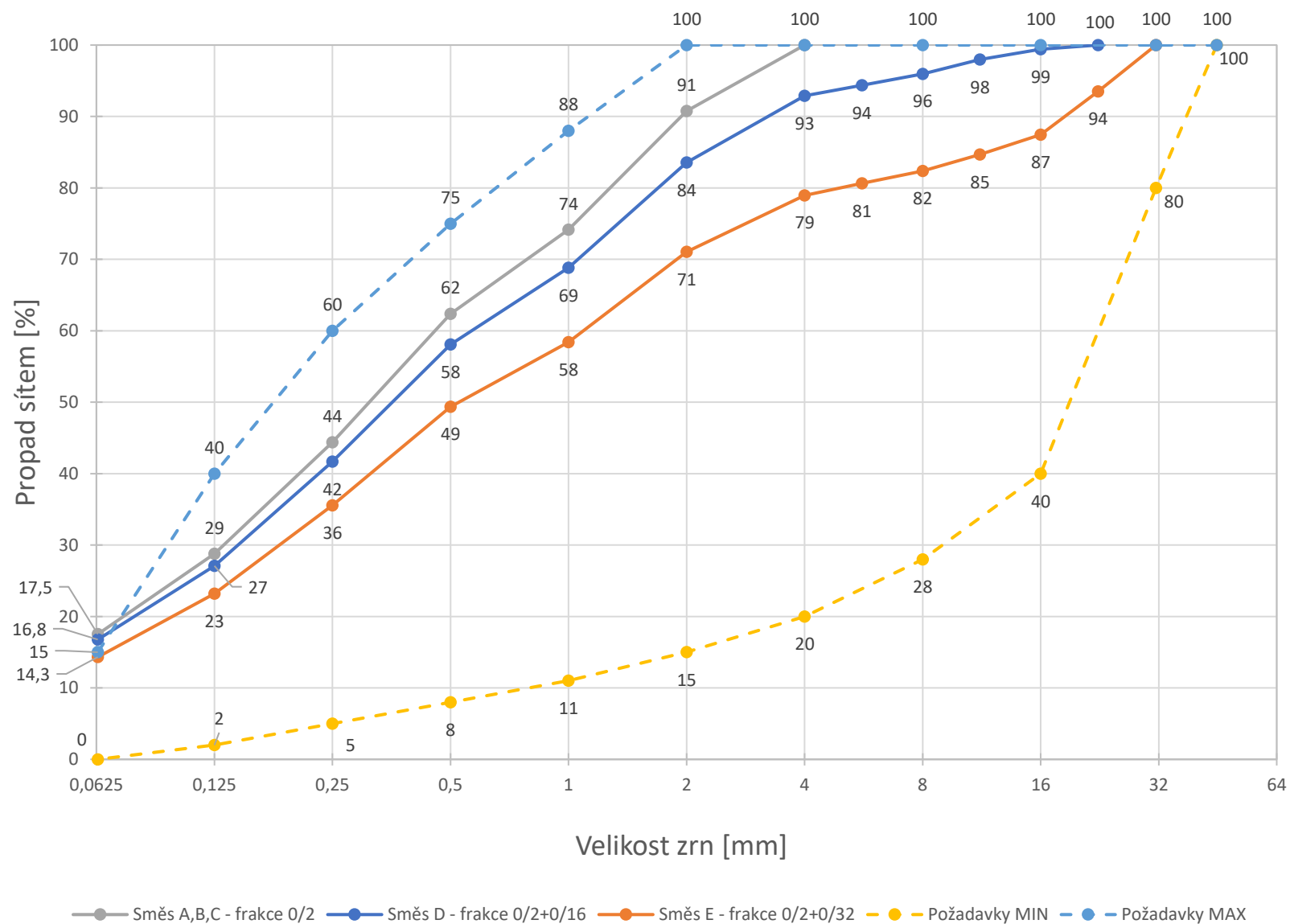
# Porovnání zrnitosti směsí kameniva s požadavky normy ČSN EN 14227-1

Porovnání s požadavky na směs kameniva typu 3



Porovnání zrnitosti směsí kameniva s požadavky normy ČSN EN 14227-1

## Porovnání zrnitosti směsí kameniva s požadavky normy ČSN 73 6124-1



Porovnání zrnitosti směsí kameniva s požadavky normy ČSN 73 6124-1



FAKULTA

STAVEBNÍ ústav

pozemních komunikací

---

# PŘÍLOHA B

## PROCTOROVA ZKOUŠKA

## **SEZNAM PROTOKOLŮ:**

- 1 Protokol o stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - směs kameniva frakce 0/2 s 6 % cementu ..... 3
- 2 Protokol o stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - směs kameniva frakce 0/2 a 0/16 s 6 % cementu ..... 5
- 3 Protokol o stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - směs kameniva frakce 0/2 a 0/32 s 6 % cementu ..... 7

### Protokol o stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti, metoda Proctor Modifikovaný

Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-2

Materiál: směs drobného přírodního kameniva frakce 0/2 (kamenolom Ondřejovice) s 6 % cementu 32,5R

Velikost jednotlivých navážek: 2,5 kg

Počáteční vlhkost směsi  $w$ : 4 %

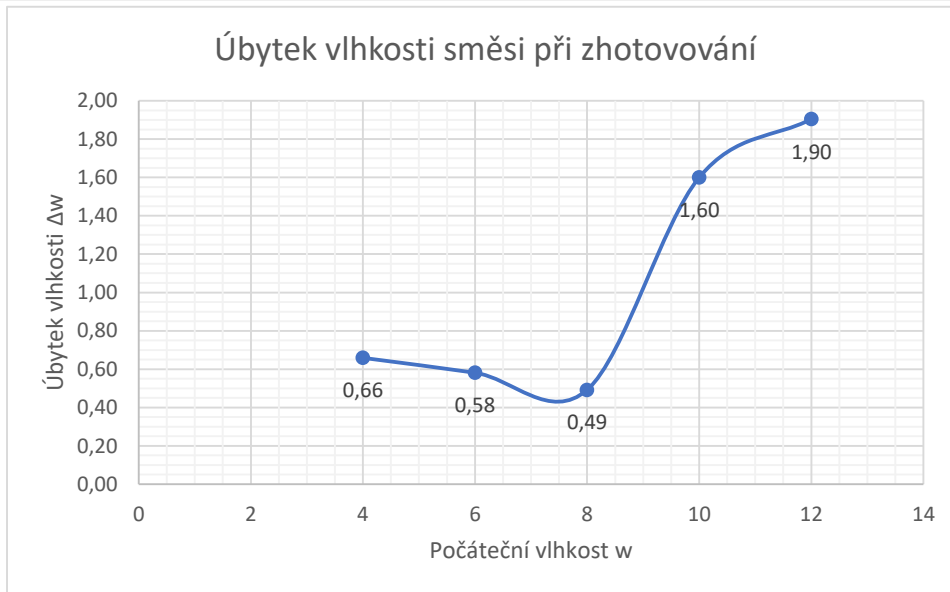
Změna vlhkosti pro další směsi  $\Delta w$ : 2 %

Váha formy PM: 3962 g

Objem formy PM: 942,48 cm<sup>3</sup>

<p><b>Vzorek č.1:</b> <math>w = 4 \%</math></p> <p><math>m = 5950</math> g <math>m_{vz} = 1988</math> g</p> <p><b>Vlhkost:</b></p> <p><math>m_{F,1} = 39,1</math> g <math>m_{S,1} = 153,4</math> g <math>m_{D,1} = 149,7</math> g <math>m_{F,2} = 29,8</math> g <math>m_{S,2} = 138,2</math> g <math>m_{D,2} = 134,7</math> g</p> <p><math>w_1 = 3,35 \%</math> <math>w_2 = 3,34 \%</math> <b><math>w = 3,341 \%</math></b></p> <p><b>Objemová hmotnost:</b> <math>\rho = 2109</math> kg/m<sup>3</sup> <b><math>\rho_d = 2041</math> kg/m<sup>3</sup></b></p> <p><b>Úbytek vlhkosti při zhotovování vzorku</b> <math>\Delta w = 0,66 \%</math></p>	<p><b>Vzorek č.2:</b> <math>w = 6 \%</math></p> <p><math>m = 6002</math> g <math>m_{vz} = 2040</math> g</p> <p><b>Vlhkost:</b></p> <p><math>m_{F,1} = 28,3</math> g <math>m_{S,1} = 144,6</math> g <math>m_{D,1} = 138,6</math> g <math>m_{F,2} = 30,3</math> g <math>m_{S,2} = 137,7</math> g <math>m_{D,2} = 132,2</math> g</p> <p><math>w_1 = 5,44 \%</math> <math>w_2 = 5,40 \%</math> <b><math>w = 5,42 \%</math></b></p> <p><b>Objemová hmotnost:</b> <math>\rho = 2165</math> kg/m<sup>3</sup> <b><math>\rho_d = 2053</math> kg/m<sup>3</sup></b></p> <p><b>Úbytek vlhkosti při zhotovování vzorku</b> <math>\Delta w = 0,58 \%</math></p>
<p><b>Vzorek č.3:</b> <math>w = 8 \%</math></p> <p><math>m = 6079</math> g <math>m_{vz} = 2117</math> g</p> <p><b>Vlhkost:</b></p> <p><math>m_{F,1} = 29,1</math> g <math>m_{S,1} = 151,0</math> g <math>m_{D,1} = 142,5</math> g <math>m_{F,2} = 29,4</math> g <math>m_{S,2} = 135,2</math> g <math>m_{D,2} = 127,8</math> g</p> <p><math>w_1 = 7,50 \%</math> <math>w_2 = 7,52 \%</math> <b><math>w = 7,508 \%</math></b></p> <p><b>Objemová hmotnost:</b> <math>\rho = 2246</math> kg/m<sup>3</sup> <b><math>\rho_d = 2089</math> kg/m<sup>3</sup></b></p> <p><b>Úbytek vlhkosti při zhotovování vzorku</b> <math>\Delta w = 0,49 \%</math></p>	<p><b>Vzorek č.4:</b> <math>w = 10 \%</math></p> <p><math>m = 6081</math> g <math>m_{vz} = 2119</math> g</p> <p><b>Vlhkost:</b></p> <p><math>m_{F,1} = 28,9</math> g <math>m_{S,1} = 153,6</math> g <math>m_{D,1} = 144,1</math> g <math>m_{F,2} = 29,8</math> g <math>m_{S,2} = 152,9</math> g <math>m_{D,2} = 143,2</math> g</p> <p><math>w_1 = 8,25 \%</math> <math>w_2 = 8,55 \%</math> <b><math>w = 8,40 \%</math></b></p> <p><b>Objemová hmotnost:</b> <math>\rho = 2248</math> kg/m<sup>3</sup> <b><math>\rho_d = 2074</math> kg/m<sup>3</sup></b></p> <p><b>Úbytek vlhkosti při zhotovování vzorku</b> <math>\Delta w = 1,60 \%</math></p>
<p><b>Vzorek č.5:</b> <math>w = 12 \%</math></p> <p><math>m = 6069</math> g <math>m_{vz} = 2107</math> g</p> <p><b>Vlhkost:</b></p> <p><math>m_{F,1} = 29,0</math> g <math>m_{S,1} = 142,4</math> g <math>m_{D,1} = 131,7</math> g <math>m_{F,2} = 29,3</math> g <math>m_{S,2} = 159,6</math> g <math>m_{D,2} = 148,0</math> g</p> <p><math>w_1 = 10,42 \%</math> <math>w_2 = 9,77 \%</math> <b><math>w = 10,1 \%</math></b></p> <p><b>Objemová hmotnost:</b> <math>\rho = 2236</math> kg/m<sup>3</sup> <b><math>\rho_d = 2031</math> kg/m<sup>3</sup></b></p> <p><b>Úbytek vlhkosti při zhotovování vzorku</b> <math>\Delta w = 1,90 \%</math></p>	

**Vyhodnocení:**



Odhadovaný úbytek vlhkosti při dosažení optimální vlhkosti směsi po zhutnění  $\Delta w = 1 \%$

**Optimální vlhkost směsi  $w_{opt} = 7,5 \%$**   
**Maximální objemová hmotnost suché směsi  $\rho_d = 2090 \text{ kg/m}^3$**

**Doporučená optimální vlhkost směsi před hutněním  $w_{prov,opt} = 8,5 \sim 9,5 \%$**

Datum zkoušky: 19.06.2018  
 Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis: 



### Protokol o stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti, metoda Proctor Modifikovaný

Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-2

Materiál: Směs drobného přírodního kameniva frakce 0/2 (80%) a frakce 0/16 (20%) (kamenolom Ondřejovice) s 6 % cementu 32,5R

Velikost jednotlivých navážek: 2,5 kg

Počáteční vlhkost směsi  $w$ : 4,5 %

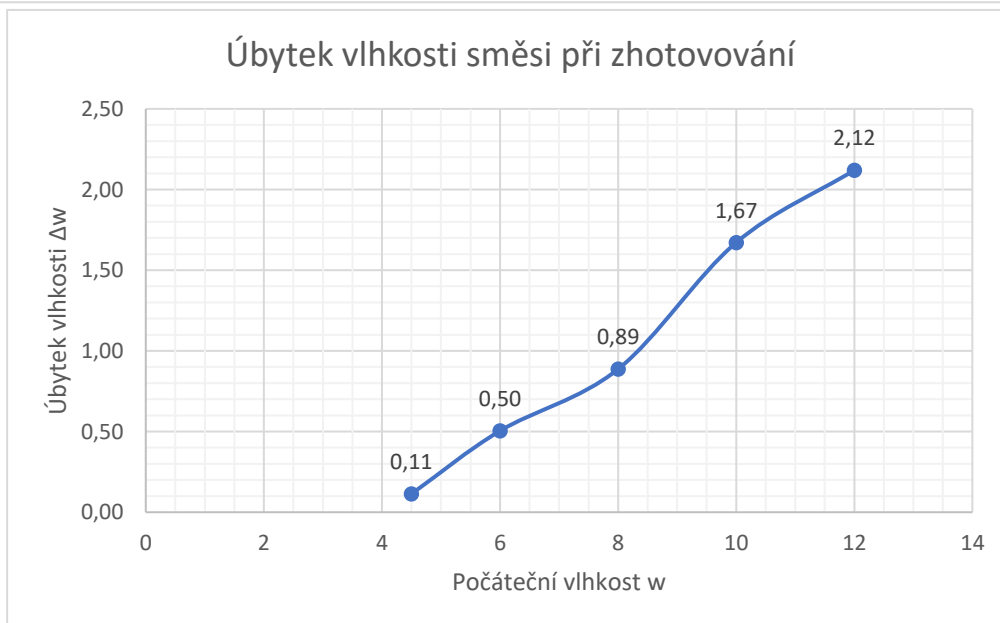
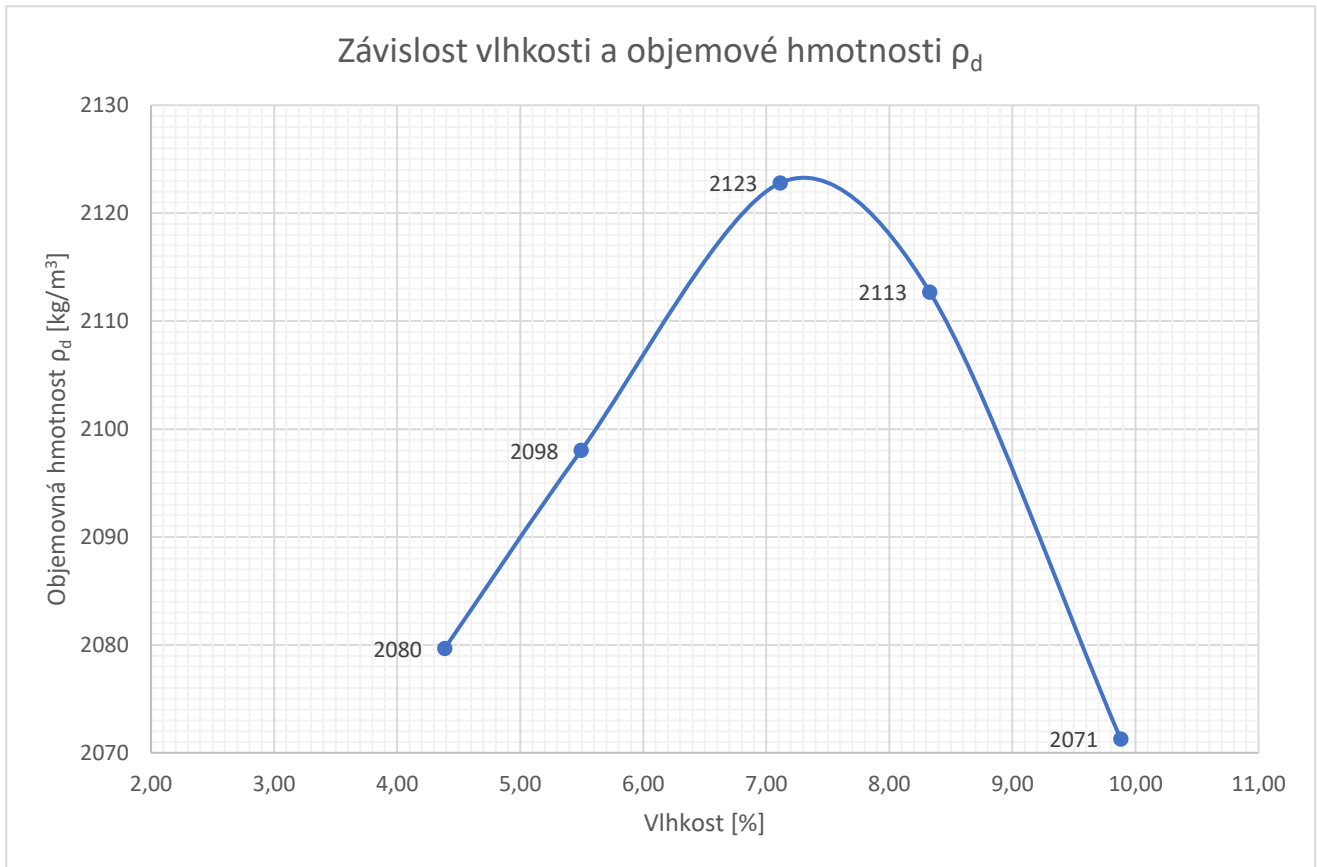
Změna vlhkosti pro další směsi  $\Delta w$ : 2 %

Váha formy PM: 3962 g

Objem formy PM: 942,48 cm<sup>3</sup>

<p><b>Vzorek č.1:</b> <math>w = 4,5 \%</math></p> <p><math>m = 6008 \text{ g}</math> <math>m_{vz} = 2046 \text{ g}</math></p> <p><b>Vlhkost:</b></p> <p><math>m_{F,1} = 29,2 \text{ g}</math> <math>m_{S,1} = 142,9 \text{ g}</math> <math>m_{D,1} = 138,1 \text{ g}</math> <math>m_{F,2} = 29,4 \text{ g}</math> <math>m_{S,2} = 139,4 \text{ g}</math> <math>m_{D,2} = 134,8 \text{ g}</math></p> <p><math>w_1 = 4,41 \%</math> <math>w = 4,39 \%</math> <math>w_2 = 4,36 \%</math></p> <p><b>Objemová hmotnost:</b> <math>\rho = 2171 \text{ kg/m}_3</math> <b><math>\rho_d = 2080 \text{ kg/m}_3</math></b></p> <p><b>Úbytek vlhkosti při zhotovování vzorku</b> <math>\Delta w = 0,11 \%</math></p>	<p><b>Vzorek č.2:</b> <math>w = 6 \%</math></p> <p><math>m = 6048 \text{ g}</math> <math>m_{vz} = 2086 \text{ g}</math></p> <p><b>Vlhkost:</b></p> <p><math>m_{F,1} = 29,0 \text{ g}</math> <math>m_{S,1} = 141,3 \text{ g}</math> <math>m_{D,1} = 135,3 \text{ g}</math> <math>m_{F,2} = 39,2 \text{ g}</math> <math>m_{S,2} = 218,5 \text{ g}</math> <math>m_{D,2} = 209,4 \text{ g}</math></p> <p><math>w_1 = 5,64 \%</math> <math>w = 5,50 \%</math> <math>w_2 = 5,35 \%</math></p> <p><b>Objemová hmotnost:</b> <math>\rho = 2213 \text{ kg/m}_3</math> <b><math>\rho_d = 2098 \text{ kg/m}_3</math></b></p> <p><b>Úbytek vlhkosti při zhotovování vzorku</b> <math>\Delta w = 0,50 \%</math></p>
<p><b>Vzorek č.3:</b> <math>w = 8 \%</math></p> <p><math>m = 6105 \text{ g}</math> <math>m_{vz} = 2143 \text{ g}</math></p> <p><b>Vlhkost:</b></p> <p><math>m_{F,1} = 28,3 \text{ g}</math> <math>m_{S,1} = 146,0 \text{ g}</math> <math>m_{D,1} = 138,2 \text{ g}</math> <math>m_{F,2} = 29,8 \text{ g}</math> <math>m_{S,2} = 138,0 \text{ g}</math> <math>m_{D,2} = 130,8 \text{ g}</math></p> <p><math>w_1 = 7,10 \%</math> <math>w = 7,11 \%</math> <math>w_2 = 7,13 \%</math></p> <p><b>Objemová hmotnost:</b> <math>\rho = 2274 \text{ kg/m}_3</math> <b><math>\rho_d = 2123 \text{ kg/m}_3</math></b></p> <p><b>Úbytek vlhkosti při zhotovování vzorku</b> <math>\Delta w = 0,89 \%</math></p>	<p><b>Vzorek č.4:</b> <math>w = 10 \%</math></p> <p><math>m = 6119 \text{ g}</math> <math>m_{vz} = 2157 \text{ g}</math></p> <p><b>Vlhkost:</b></p> <p><math>m_{F,1} = 28,9 \text{ g}</math> <math>m_{S,1} = 142,6 \text{ g}</math> <math>m_{D,1} = 133,9 \text{ g}</math> <math>m_{F,2} = 30,3 \text{ g}</math> <math>m_{S,2} = 149,4 \text{ g}</math> <math>m_{D,2} = 140,2 \text{ g}</math></p> <p><math>w_1 = 8,29 \%</math> <math>w = 8,33 \%</math> <math>w_2 = 8,37 \%</math></p> <p><b>Objemová hmotnost:</b> <math>\rho = 2289 \text{ kg/m}_3</math> <b><math>\rho_d = 2113 \text{ kg/m}_3</math></b></p> <p><b>Úbytek vlhkosti při zhotovování vzorku</b> <math>\Delta w = 1,67 \%</math></p>
<p><b>Vzorek č.5:</b> <math>w = 12 \%</math></p> <p><math>m = 6107 \text{ g}</math> <math>m_{vz} = 2145 \text{ g}</math></p> <p><b>Vlhkost:</b></p> <p><math>m_{F,1} = 29,4 \text{ g}</math> <math>m_{S,1} = 159,6 \text{ g}</math> <math>m_{D,1} = 148,1 \text{ g}</math> <math>m_{F,2} = 29,8 \text{ g}</math> <math>m_{S,2} = 152,2 \text{ g}</math> <math>m_{D,2} = 141,0 \text{ g}</math></p> <p><math>w_1 = 9,69 \%</math> <math>w = 9,88 \%</math> <math>w_2 = 10,07 \%</math></p> <p><b>Objemová hmotnost:</b> <math>\rho = 2276 \text{ kg/m}_3</math> <b><math>\rho_d = 2071 \text{ kg/m}_3</math></b></p> <p><b>Úbytek vlhkosti při zhotovování vzorku</b> <math>\Delta w = 2,12 \%</math></p>	

**Vyhodnocení:**



Odhadovaný úbytek vlhkosti při dosažení optimální vlhkosti směsi po zhutnění  $\Delta w = 1,3 \%$

**Optimální vlhkost směsi  $w_{opt} = 7,4 \%$**   
**Maximální objemová hmotnost suché směsi  $\rho_d = 2125 \text{ kg/m}^3$**

**Doporučená optimální vlhkost směsi před hutněním  $w_{prov,opt} = 8,5 \sim 9,5 \%$**

Datum zkoušky: 29.06.2018  
 Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti, metoda Proctor Modifikovaný**

Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-2

Materiál: Směs drobného přírodního kameniva frakce 0/2 (70%) a frakce 0/32 (30%) (kamenolom Ondřejovice) s 6 % cementu 32,5R

Velikost jednotlivých navážek: 2,5 kg

Počáteční vlhkost směsi w: 4,5 %

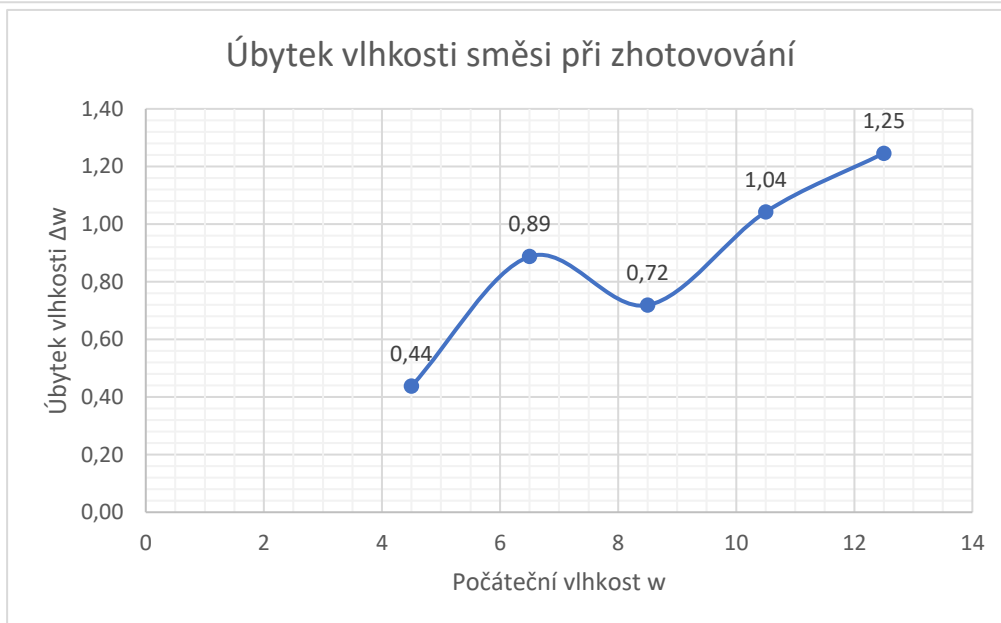
Změna vlhkosti pro další směsi Δw: 2 %

Váha formy PM: 3962 g

 Objem formy PM: 942,48 cm<sup>3</sup>

<b>Vzorek č.1: w= 4,5 %</b> m= 6007 g m <sub>vz</sub> = 2045 g <b>Vlhkost:</b> m <sub>F,1</sub> = 29,1 g m <sub>S,1</sub> = 165,3 g m <sub>D,1</sub> = 159,9 g m <sub>F,2</sub> = 29,3 g m <sub>S,2</sub> = 156,8 g m <sub>D,2</sub> = 151,9 g w <sub>1</sub> = 4,13 % w <sub>2</sub> = 4,00 % <b>w= 4,06 %</b> <b>Objemová hmotnost:</b> <b>Úbytek vlhkosti při</b> ρ= 2170 kg/m <sub>3</sub> <b>zhotovování vzorku</b> ρ <sub>d</sub> = 2085 kg/m <sub>3</sub> Δw= 0,44 %	<b>Vzorek č.2: w= 6,5 %</b> m= 6098 g m <sub>vz</sub> = 2136 g <b>Vlhkost:</b> m <sub>F,1</sub> = 29 g m <sub>S,1</sub> = 157,9 g m <sub>D,1</sub> = 151,3 g m <sub>F,2</sub> = 39,2 g m <sub>S,2</sub> = 200,8 g m <sub>D,2</sub> = 191,9 g w <sub>1</sub> = 5,40 % w <sub>2</sub> = 5,83 % <b>w= 5,61 %</b> <b>Objemová hmotnost:</b> <b>Úbytek vlhkosti při</b> ρ= 2266 kg/m <sub>3</sub> <b>zhotovování vzorku</b> ρ <sub>d</sub> = 2146 kg/m <sub>3</sub> Δw= 0,89 %
<b>Vzorek č.3: w= 8,5 %</b> m= 6152 g m <sub>vz</sub> = 2190 g <b>Vlhkost:</b> m <sub>F,1</sub> = 28,3 g m <sub>S,1</sub> = 157,6 g m <sub>D,1</sub> = 148,3 g m <sub>F,2</sub> = 29,8 g m <sub>S,2</sub> = 167,8 g m <sub>D,2</sub> = 157,8 g w <sub>1</sub> = 7,75 % w <sub>2</sub> = 7,81 % <b>w= 7,78 %</b> <b>Objemová hmotnost:</b> <b>Úbytek vlhkosti při</b> ρ= 2324 kg/m <sub>3</sub> <b>zhotovování vzorku</b> ρ <sub>d</sub> = 2156 kg/m <sub>3</sub> Δw= 0,72 %	<b>Vzorek č.4: w= 10,5 %</b> m= 6157 g m <sub>vz</sub> = 2195 g <b>Vlhkost:</b> m <sub>F,1</sub> = 28,9 g m <sub>S,1</sub> = 163,4 g m <sub>D,1</sub> = 151,7 g m <sub>F,2</sub> = 30,2 g m <sub>S,2</sub> = 167,7 g m <sub>D,2</sub> = 155,9 g w <sub>1</sub> = 9,53 % w <sub>2</sub> = 9,39 % <b>w= 9,46 %</b> <b>Objemová hmotnost:</b> <b>Úbytek vlhkosti při</b> ρ= 2329 kg/m <sub>3</sub> <b>zhotovování vzorku</b> ρ <sub>d</sub> = 2128 kg/m <sub>3</sub> Δw= 1,04 %
<b>Vzorek č.5: w= 12,5 %</b> m= 6075 g m <sub>vz</sub> = 2113 g <b>Vlhkost:</b> m <sub>F,1</sub> = 29,9 g m <sub>S,1</sub> = 175,5 g m <sub>D,1</sub> = 161,4 g m <sub>F,2</sub> = 29,4 g m <sub>S,2</sub> = 185,9 g m <sub>D,2</sub> = 169,4 g w <sub>1</sub> = 10,72 % w <sub>2</sub> = 11,79 % <b>w= 11,3 %</b> <b>Objemová hmotnost:</b> <b>Úbytek vlhkosti při</b> ρ= 2242 kg/m <sub>3</sub> <b>zhotovování vzorku</b> ρ <sub>d</sub> = 2015 kg/m <sub>3</sub> Δw= 1,25 %	

**Vyhodnocení:**



Odhadovaný úbytek vlhkosti při dosažení optimální vlhkosti směsi po zhutnění  $\Delta w = 0,9 \%$

**Optimální vlhkost směsi  $w_{opt} = 7,2 \%$**   
**Maximální objemová hmotnost suché směsi  $\rho_d = 2155 \text{ kg/m}^3$**

**Doporučená optimální vlhkost směsi před hutněním  $w_{prov,opt} = 8 \sim 9,0 \%$**

Datum zkoušky: 28.06.2018  
 Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:



FAKULTA

STAVEBNÍ ústav

pozemních komunikací

---

# PŘÍLOHA C

## PROTOKOLY ZKOUŠEK V LISU

## SEZNAM PROTOKOLŮ:

1	Protokol o zkoušce vzorku A01 .....	4
2	Protokol o zkoušce vzorku A02 .....	5
3	Protokol o zkoušce vzorku A03 .....	6
4	Protokol o zkoušce vzorku A05 .....	7
5	Protokol o zkoušce vzorku A06 .....	8
6	Protokol o zkoušce vzorku A07 .....	9
7	Protokol o zkoušce vzorku A08 .....	10
8	Protokol o zkoušce vzorku A10 .....	11
9	Protokol o zkoušce vzorku A11 .....	12
10	Protokol o zkoušce vzorku A12 .....	13
11	Protokol o zkoušce vzorku B01 .....	14
12	Protokol o zkoušce vzorku B02 .....	15
13	Protokol o zkoušce vzorku B03 .....	16
14	Protokol o zkoušce vzorku B05 .....	17
15	Protokol o zkoušce vzorku B06 .....	18
16	Protokol o zkoušce vzorku B07 .....	19
17	Protokol o zkoušce vzorku B08 .....	20
18	Protokol o zkoušce vzorku B09 .....	21
19	Protokol o zkoušce vzorku B10 .....	22
20	Protokol o zkoušce vzorku B11 .....	23
21	Protokol o zkoušce vzorku B12 .....	24
22	Protokol o zkoušce vzorku C01 .....	25
23	Protokol o zkoušce vzorku C02 .....	26
24	Protokol o zkoušce vzorku C03 .....	27
25	Protokol o zkoušce vzorku C05 .....	28
26	Protokol o zkoušce vzorku C06 .....	29
27	Protokol o zkoušce vzorku C07 .....	30
28	Protokol o zkoušce vzorku C08 .....	31
29	Protokol o zkoušce vzorku C09 .....	32
30	Protokol o zkoušce vzorku C10 .....	33
31	Protokol o zkoušce vzorku C11 .....	34
32	Protokol o zkoušce vzorku C12 .....	35

33	Protokol o zkoušce vzorku D01.....	36
34	Protokol o zkoušce vzorku D02.....	37
35	Protokol o zkoušce vzorku D03.....	38
36	Protokol o zkoušce vzorku D05.....	39
37	Protokol o zkoušce vzorku D06.....	40
38	Protokol o zkoušce vzorku D8.....	41
39	Protokol o zkoušce vzorku D09.....	42
40	Protokol o zkoušce vzorku D07.....	43
41	Protokol o zkoušce vzorku D10.....	44
42	Protokol o zkoušce vzorku D11.....	45
43	Protokol o zkoušce vzorku D12.....	46
44	Protokol o zkoušce vzorku E01 .....	47
45	Protokol o zkoušce vzorku E02 .....	48
46	Protokol o zkoušce vzorku E03 .....	49
47	Protokol o zkoušce vzorku E05 .....	50
48	Protokol o zkoušce vzorku E06 .....	51
49	Protokol o zkoušce vzorku E07 .....	52
50	Protokol o zkoušce vzorku E08 .....	53
51	Protokol o zkoušce vzorku E09 .....	54
52	Protokol o zkoušce vzorku E10 .....	55
53	Protokol o zkoušce vzorku E11 .....	56
54	Protokol o zkoušce vzorku E12 .....	57

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

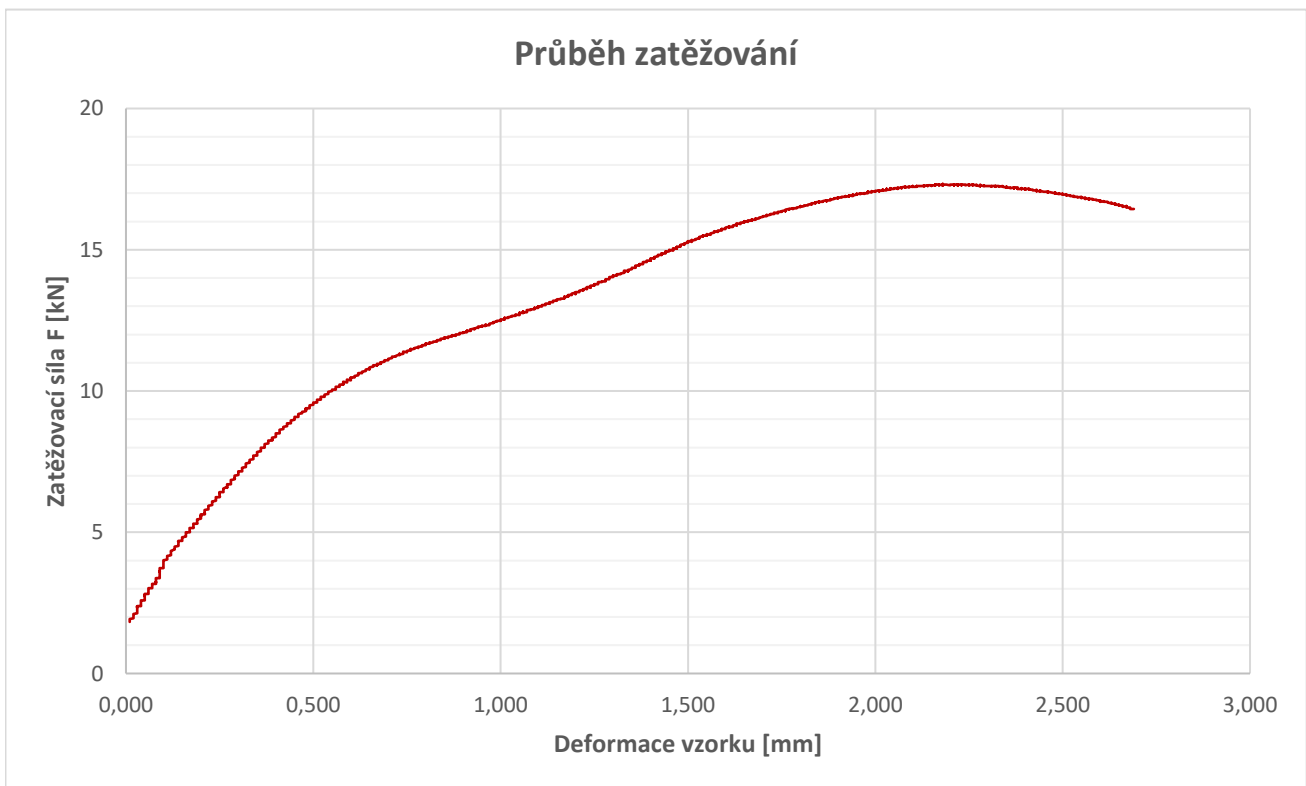
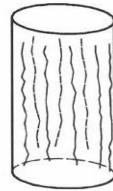
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **A01**

datum zkoušky: **23.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 17,33 kN  
Deformace vzorku při dosažené maximální síle: def= 2,18 mm  
Plocha průřezu tělesa: A<sub>c</sub>= 7853,98 mm<sup>2</sup>  
**Pevnost v tlaku:** R<sub>c</sub>= **2,21 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:



**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelných hydraulickými pojivy**

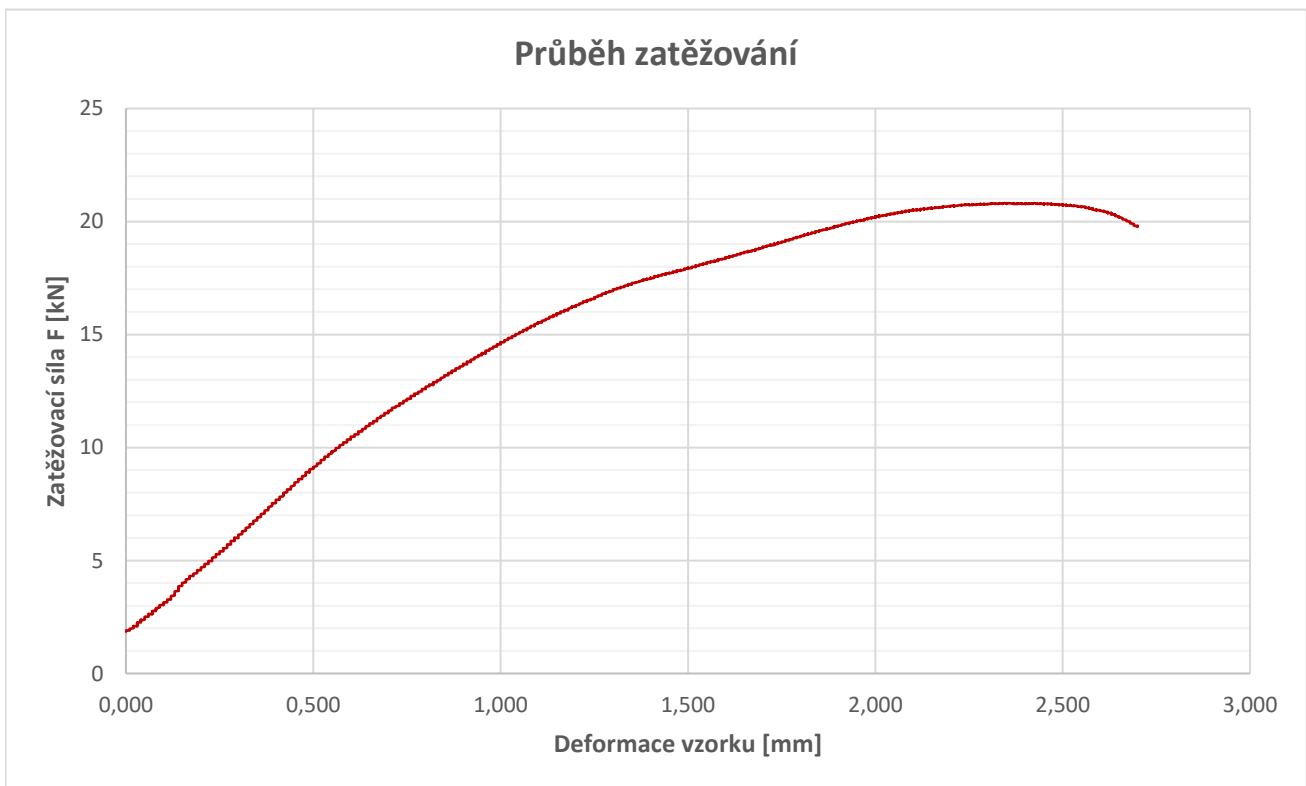
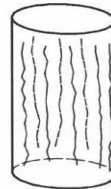
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **A02**

datum zkoušky: **23.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	20,81 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,31 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>2,65 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

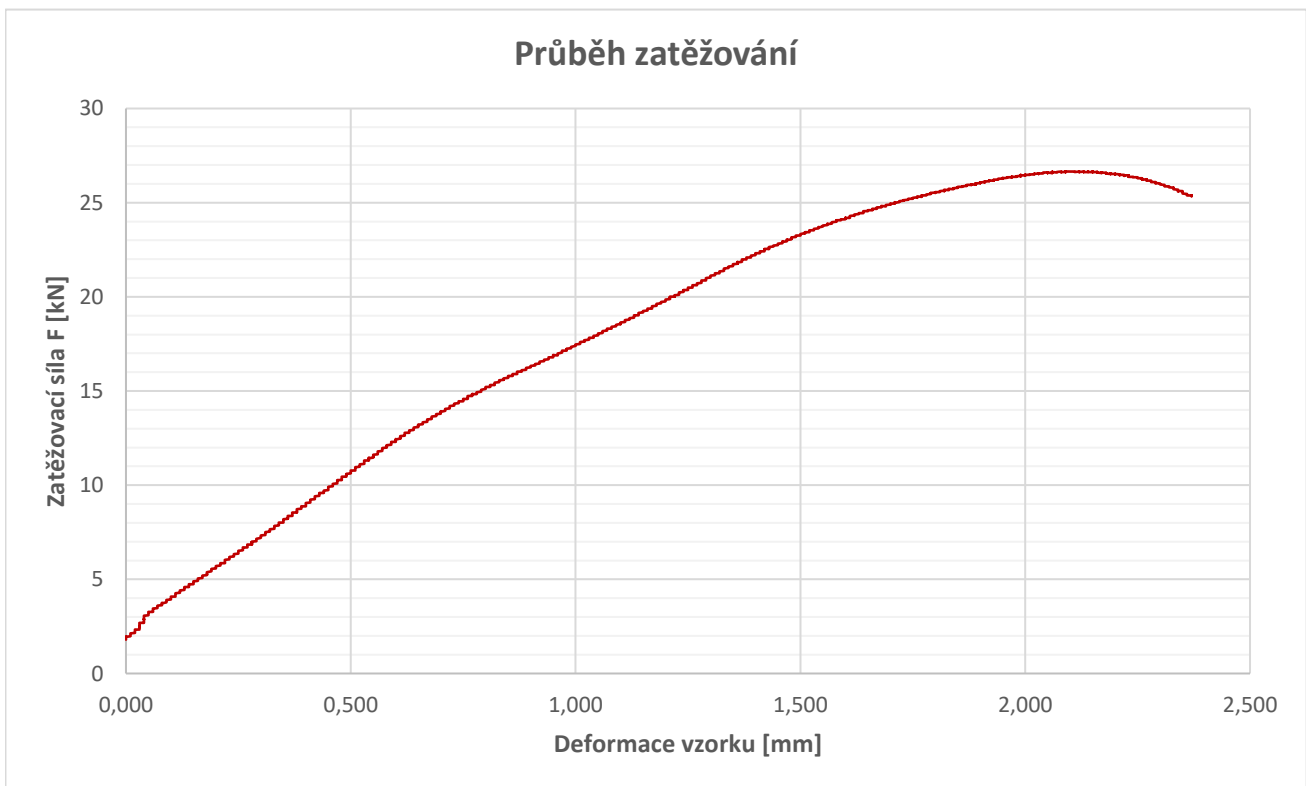
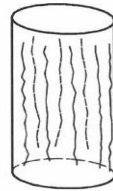
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **A03**

datum zkoušky: **23.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 26,65 kN  
Deformace vzorku při dosažené maximální síle: def= 2,08 mm  
Plocha průřezu tělesa: A<sub>c</sub>= 7853,98 mm<sup>2</sup>  
**Pevnost v tlaku:** R<sub>c</sub>= **3,39 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy

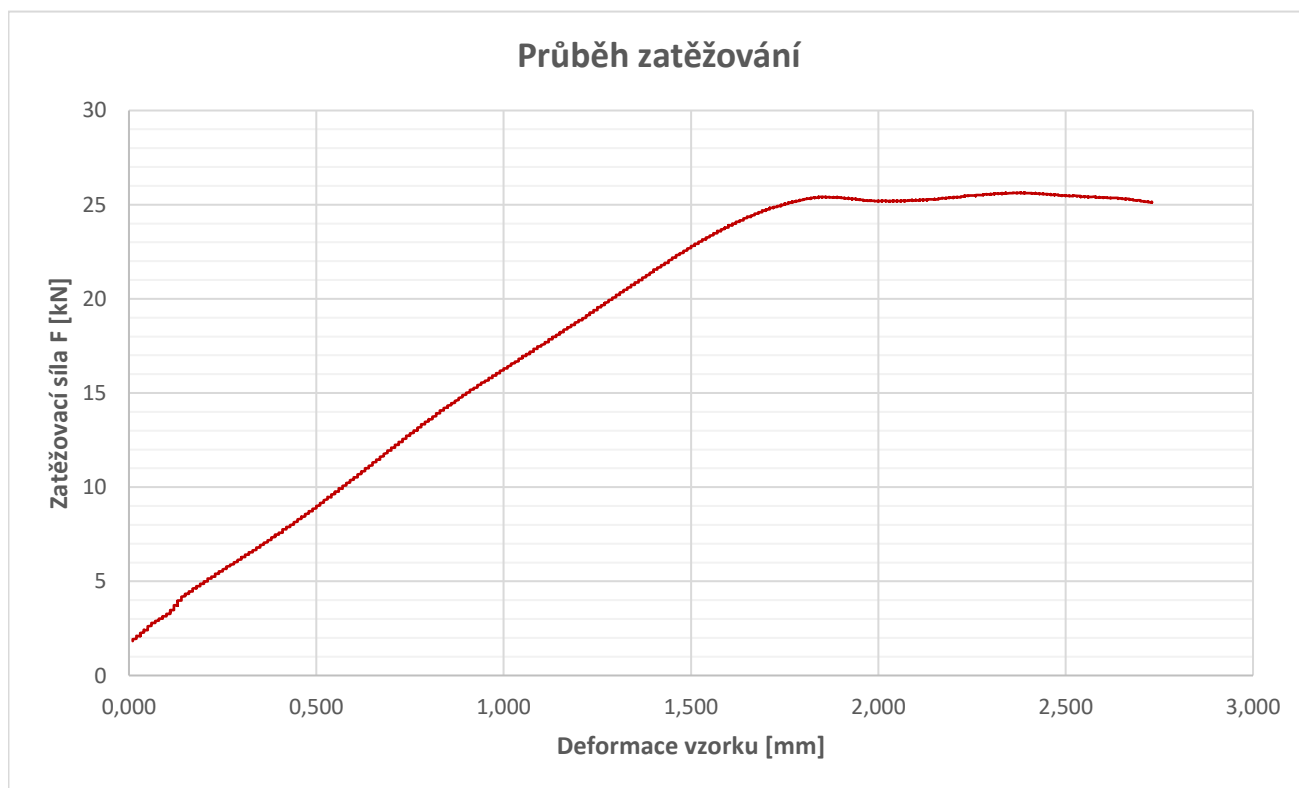
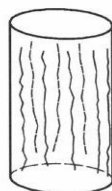
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **A05**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	25,64 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,34 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c=$	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c=$	<b>3,26 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

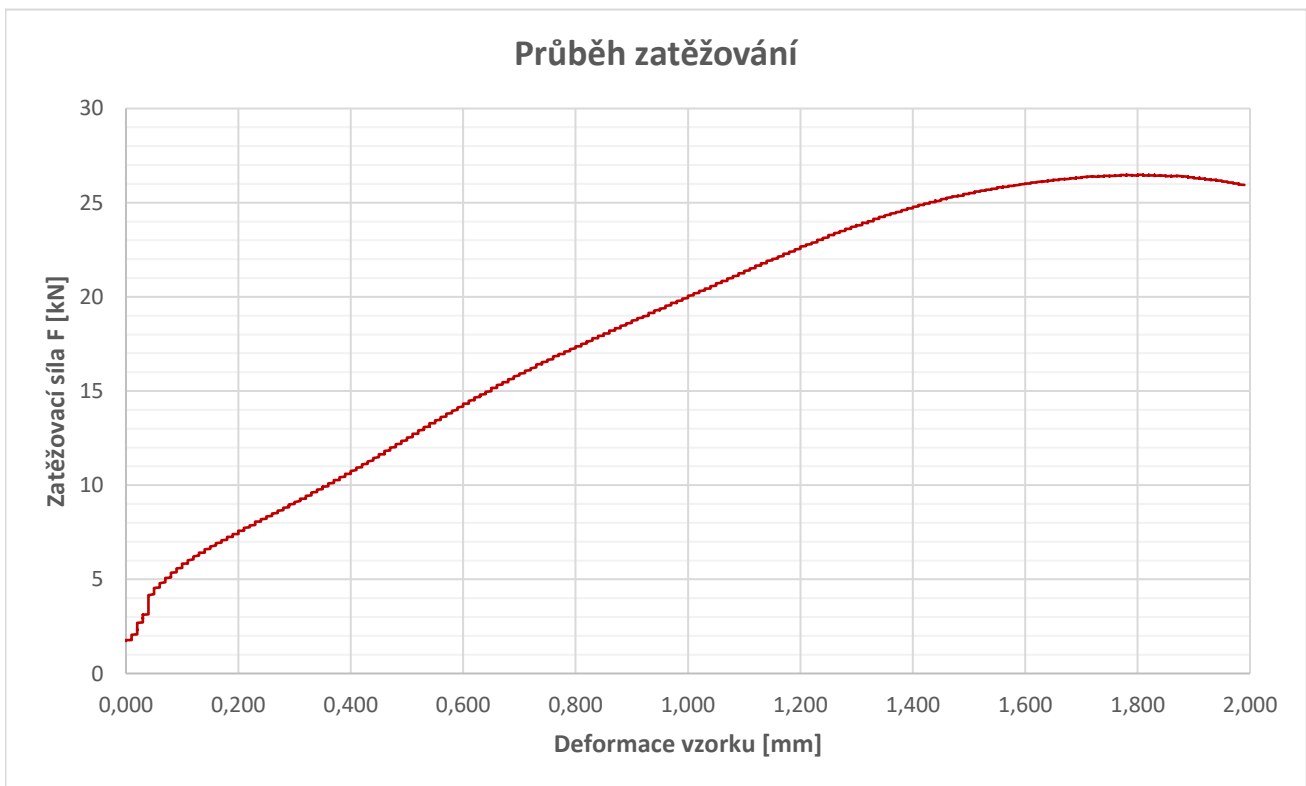
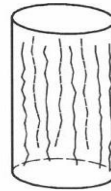
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **A06**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 26,48 kN  
Deformace vzorku při dosažené maximální síle: def= 1,77 mm  
Plocha průřezu tělesa: A<sub>c</sub>= 7853,98 mm<sup>2</sup>  
**Pevnost v tlaku:** R<sub>c</sub>= **3,37 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy

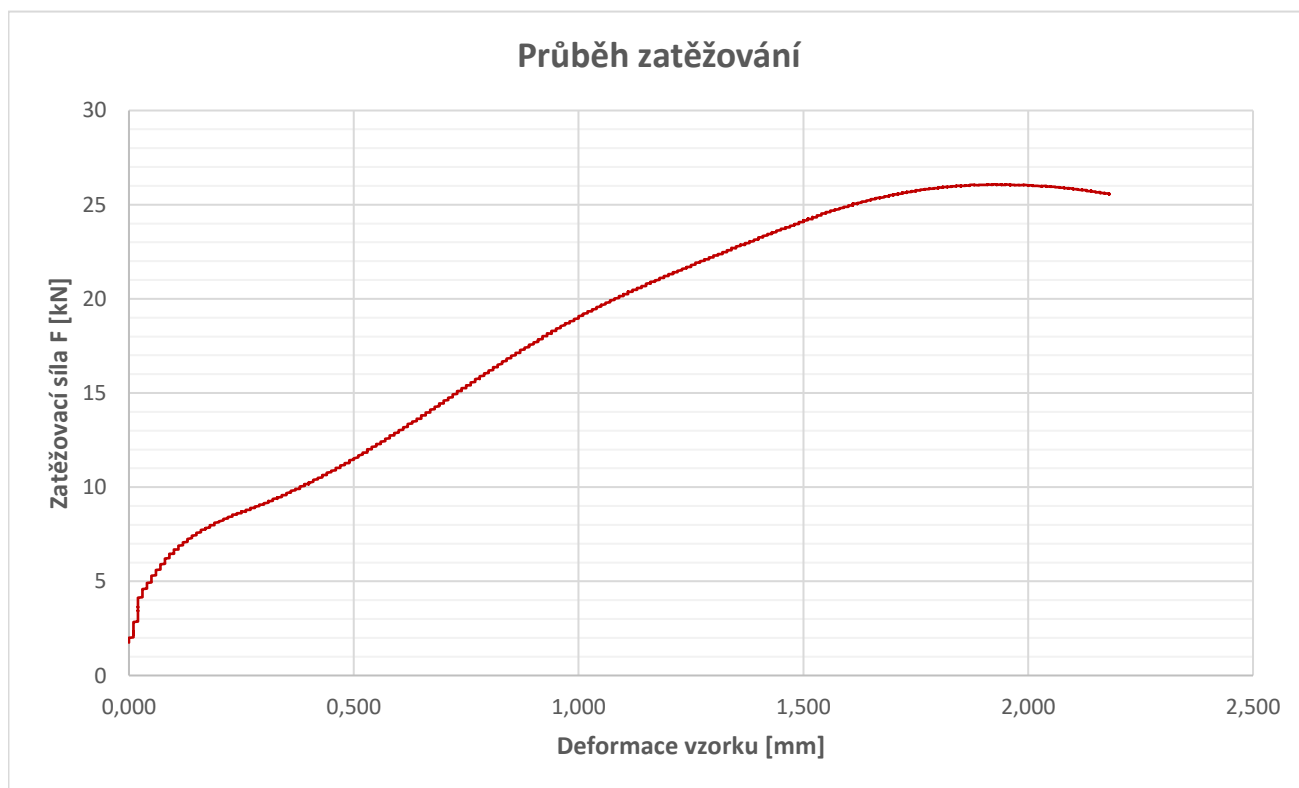
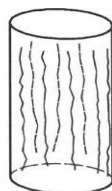
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **A07**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	26,08 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	1,91 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>3,32 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelných hydraulickými pojivy**

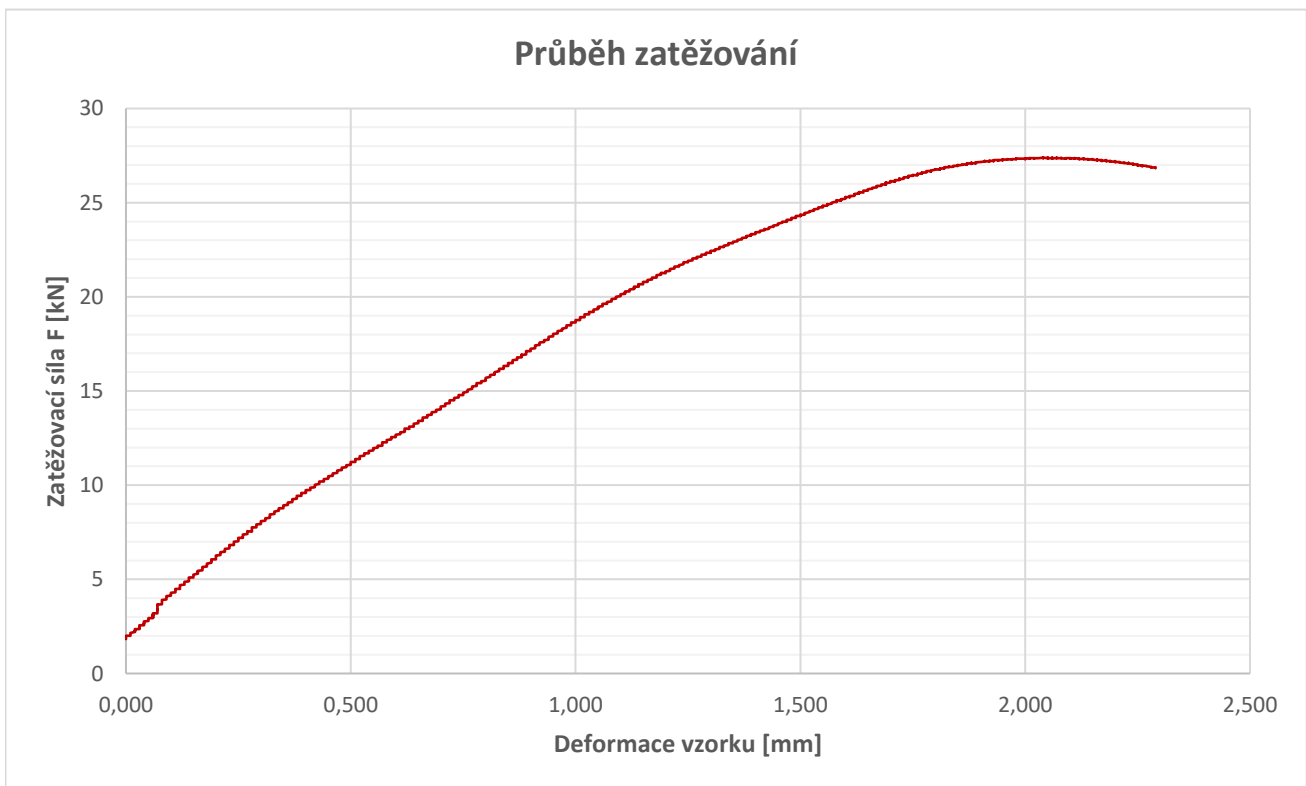
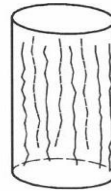
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **A08**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	27,39 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,04 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>3,49 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelných hydraulickými pojivy**

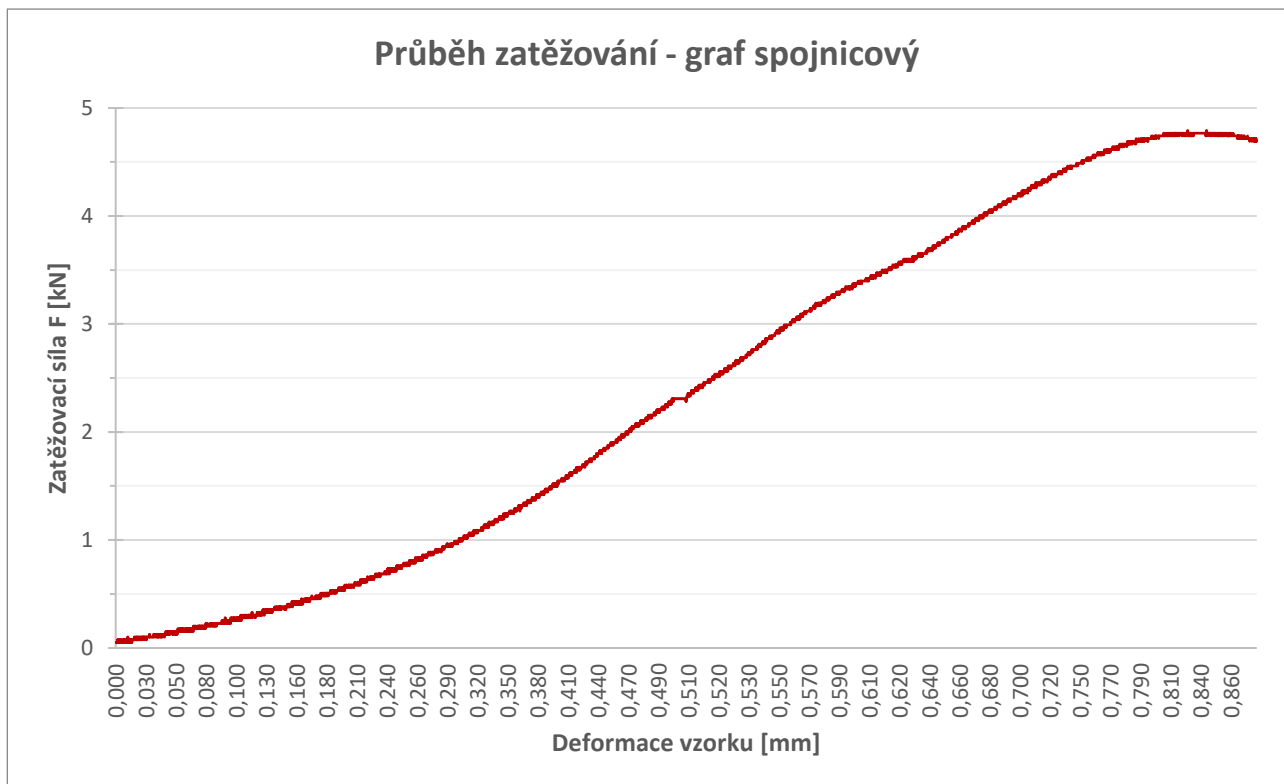
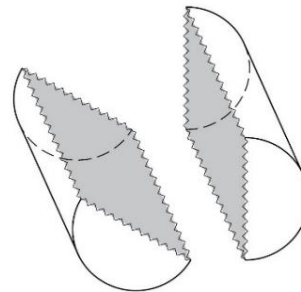
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **A10**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 4,79 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 0,83 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,25 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

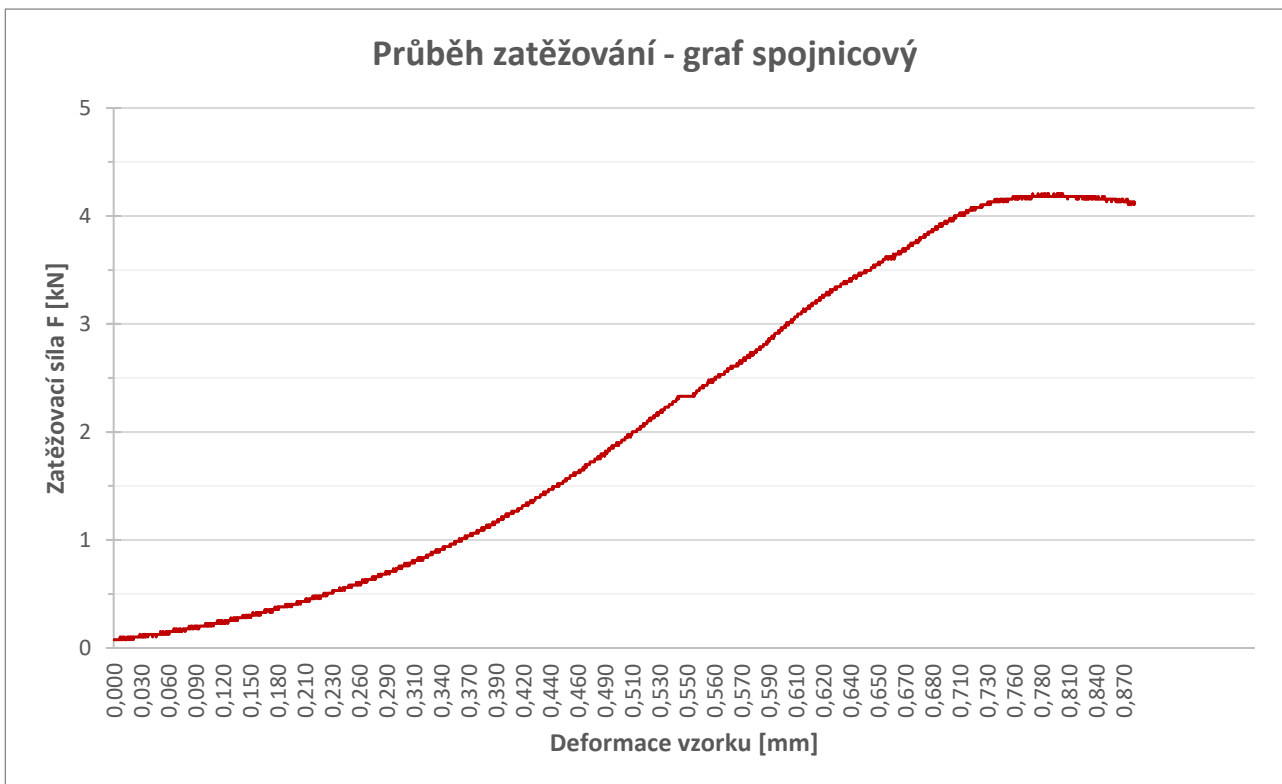
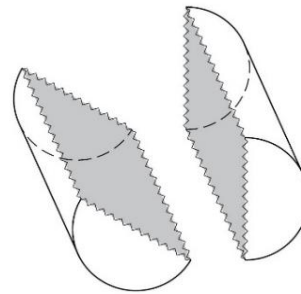
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **A11**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 4,21 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 0,77 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,22 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:



**Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy**

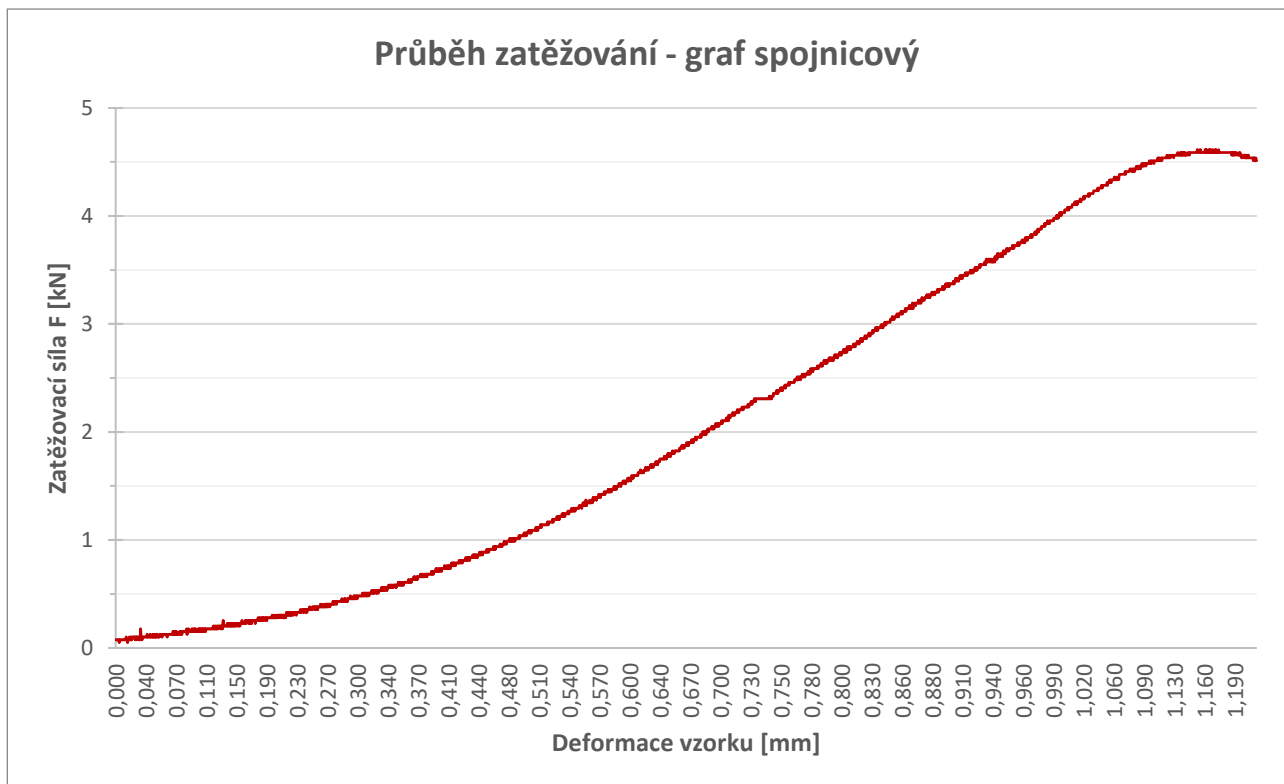
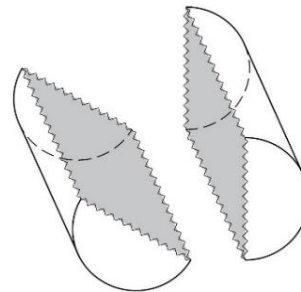
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **A12**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 4,61 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,15 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,24 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy

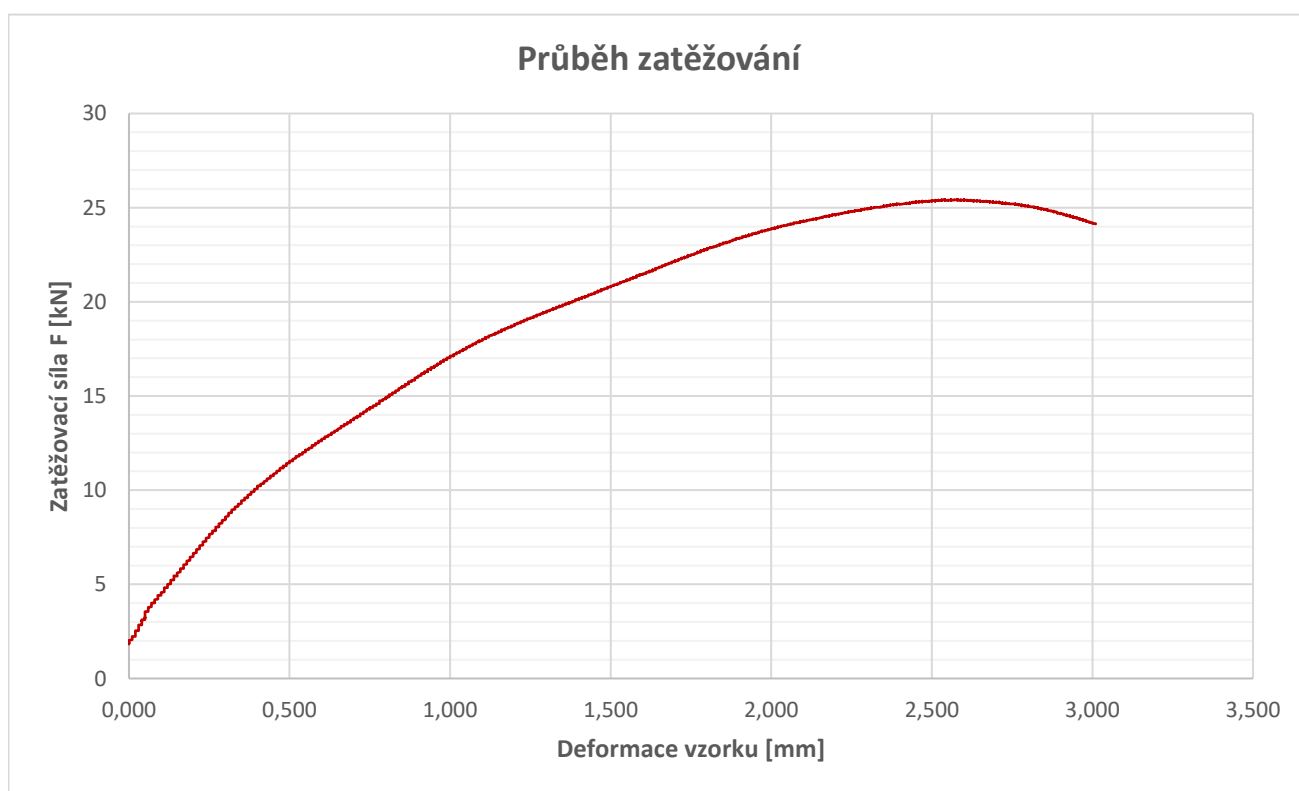
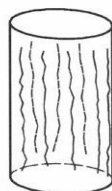
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **B01**

datum zkoušky: **23.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	25,43 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,53 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c=$	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	<b><math>R_c=</math></b>	<b>3,24 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy

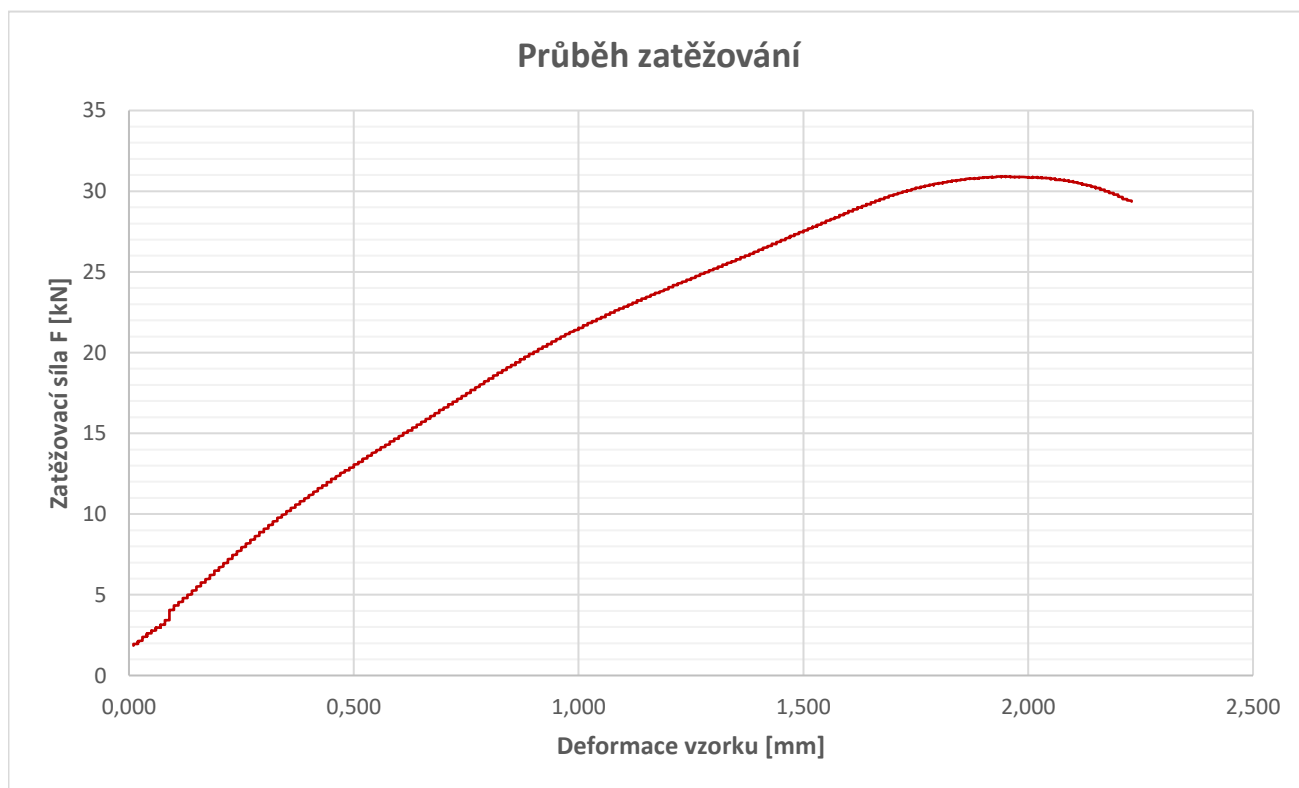
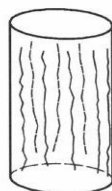
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **B02**

datum zkoušky: **23.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	30,93 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	1,95 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>3,94 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelných hydraulickými pojivy

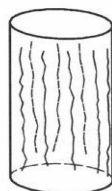
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **B03**

datum zkoušky: **23.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	33,72 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,12 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c=$	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	<b><math>R_c=</math></b>	<b>4,29 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

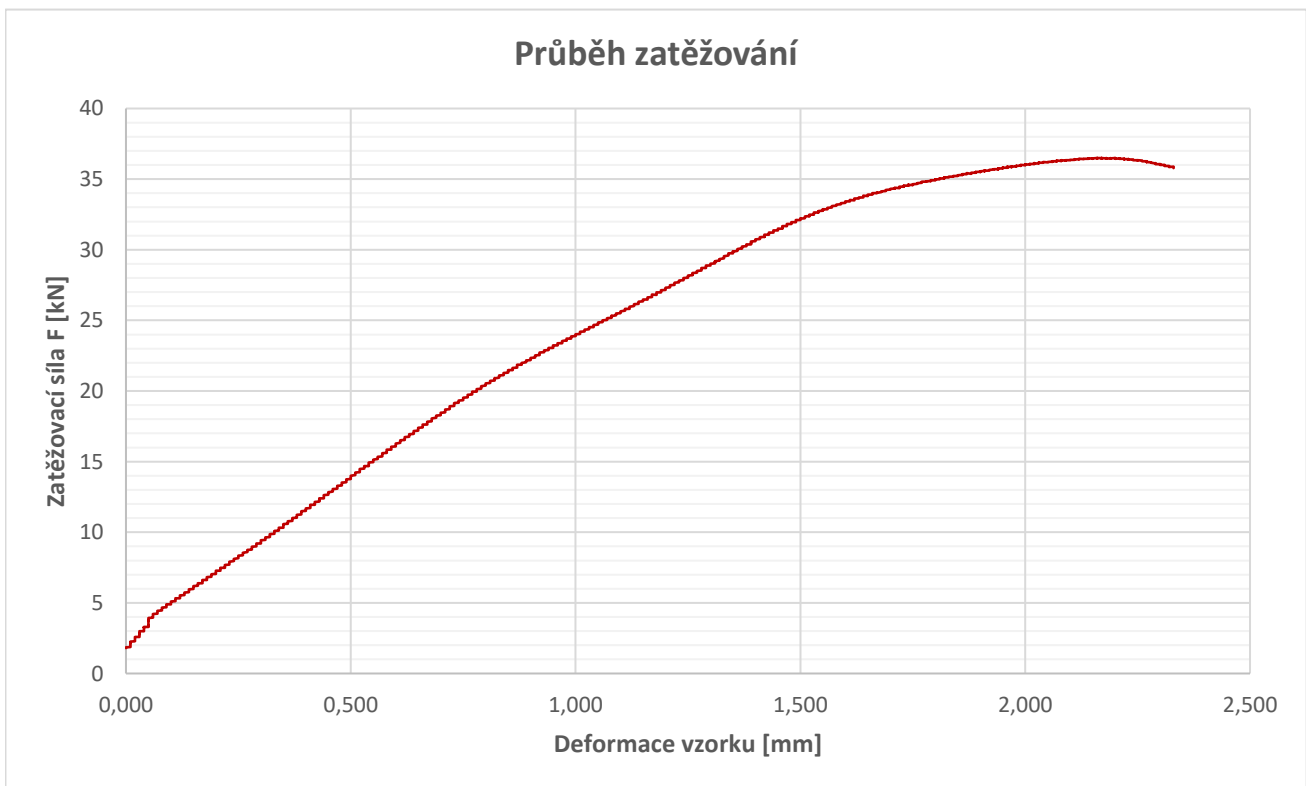
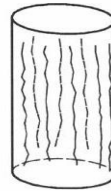
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **B05**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	36,49 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,16 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c=$	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	<b><math>R_c=</math></b>	<b>4,65 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

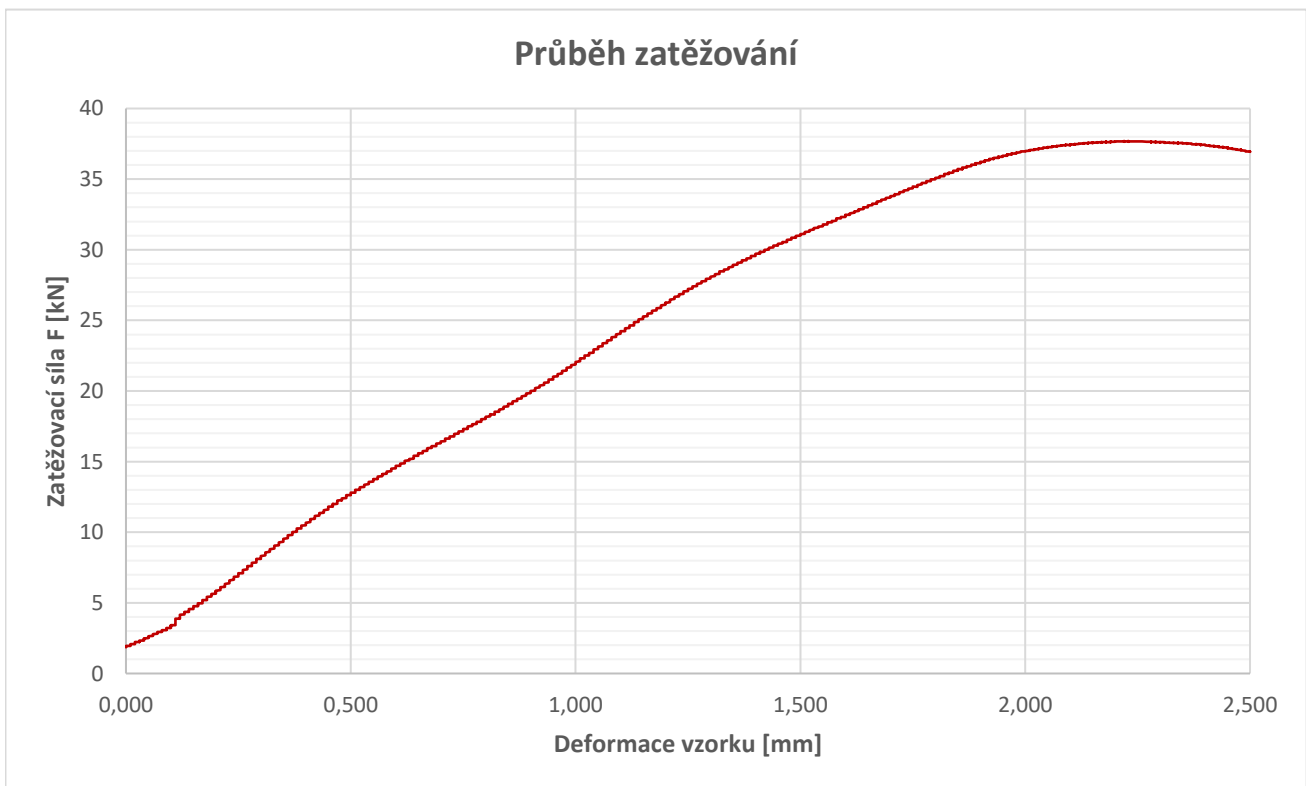
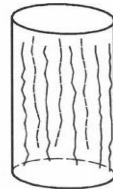
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **B06**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	37,70 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,22 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>4,80 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy

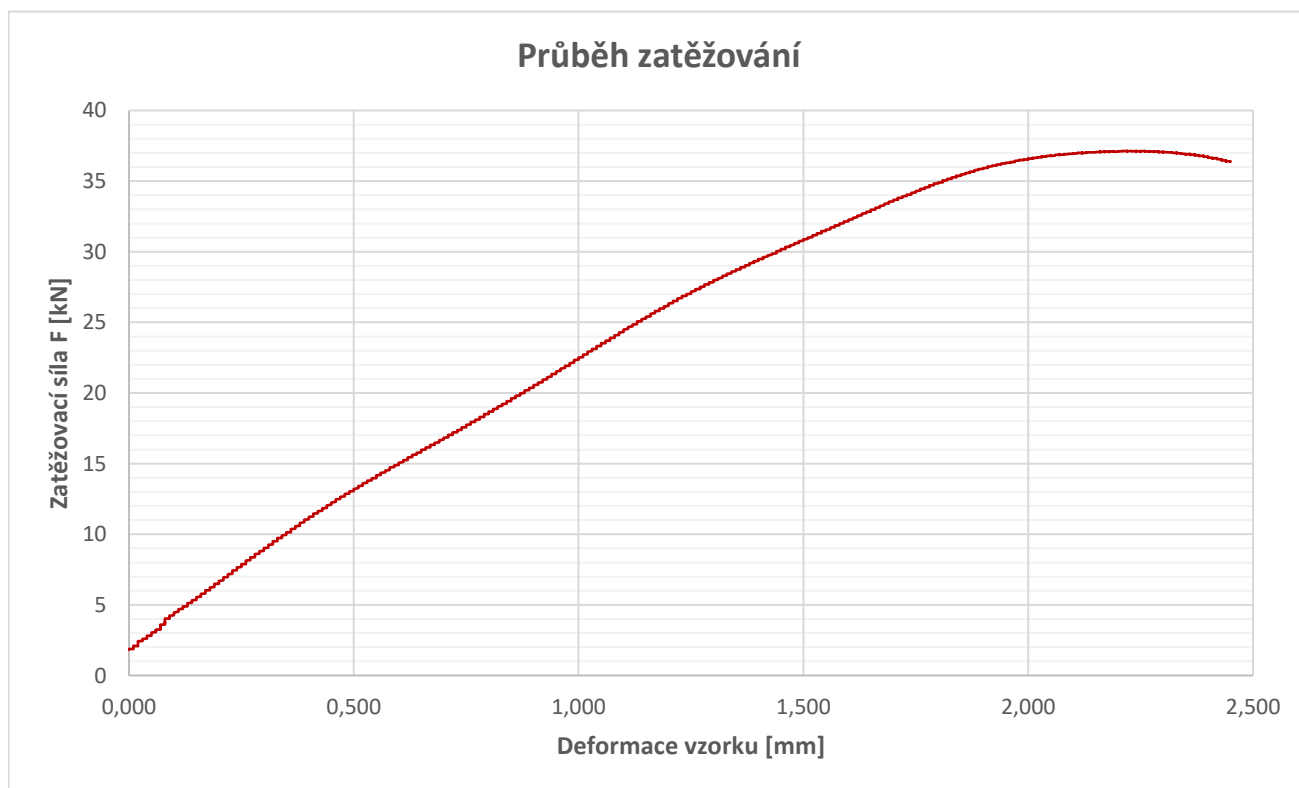
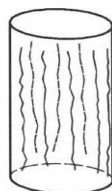
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **B07**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	37,14 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,21 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>4,73 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

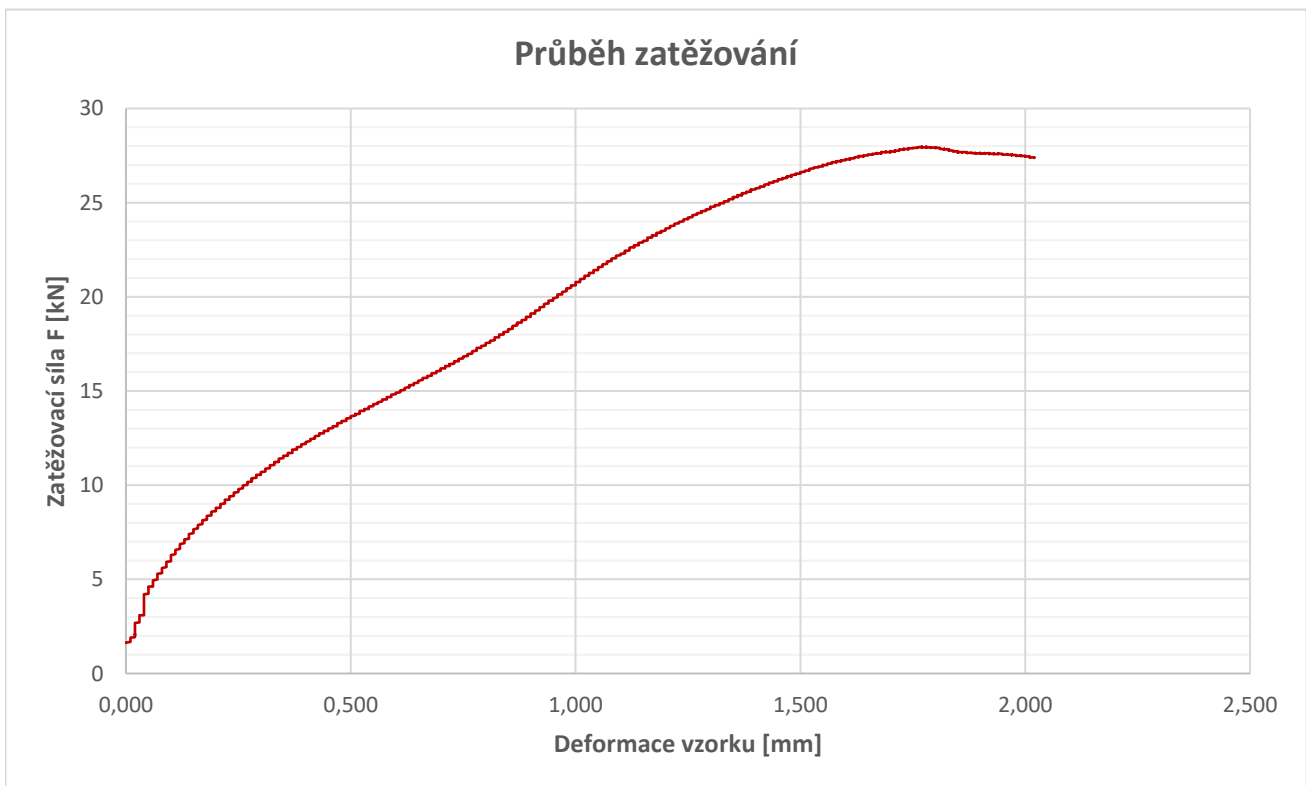
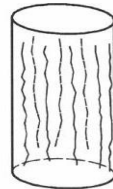
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **B08**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 27,96 kN  
Deformace vzorku při dosažené maximální síle: def= 1,77 mm  
Plocha průřezu tělesa: A<sub>c</sub>= 7853,98 mm<sup>2</sup>  
**Pevnost v tlaku:** R<sub>c</sub>= **3,56 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:



**Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy**

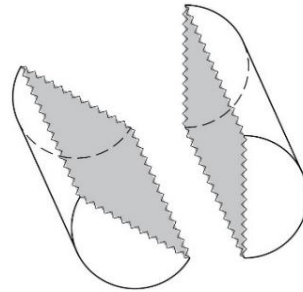
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **B09**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 6,36 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,22 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,34 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelovaných hydraulickými pojivy

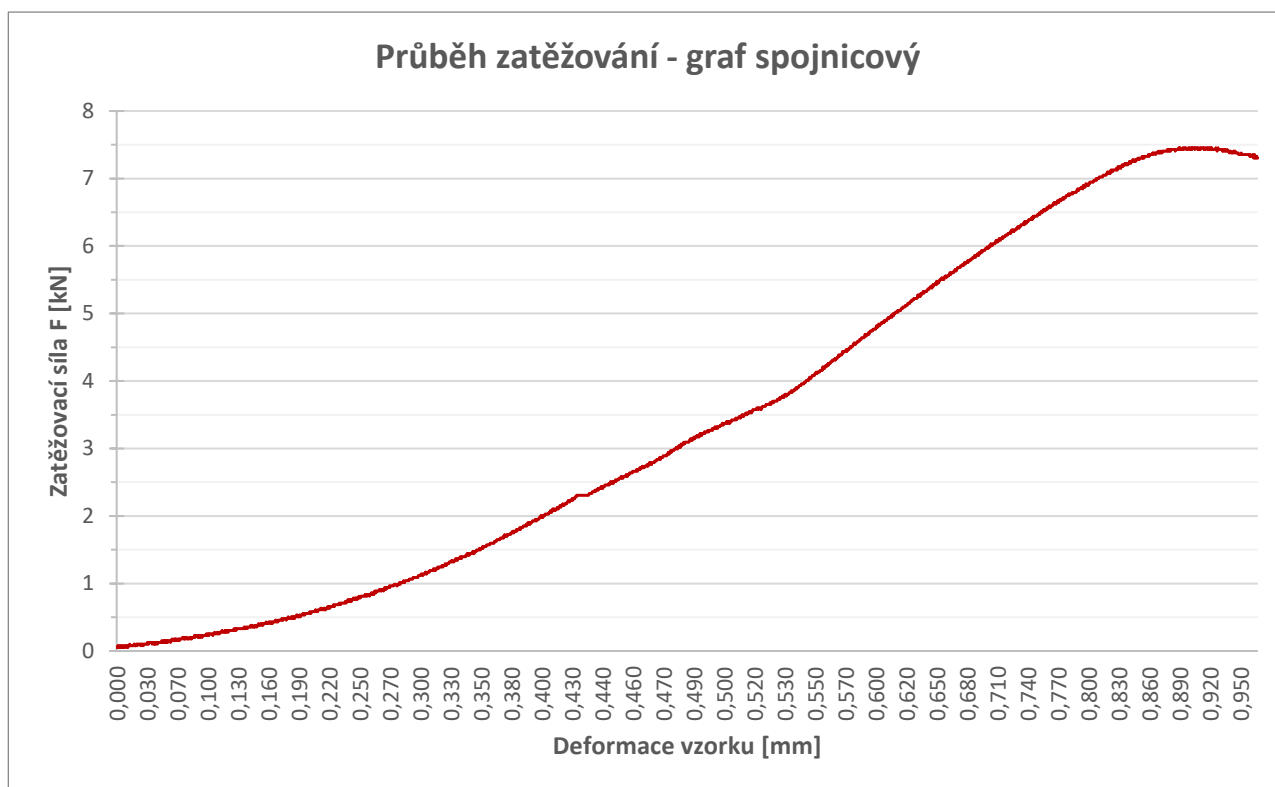
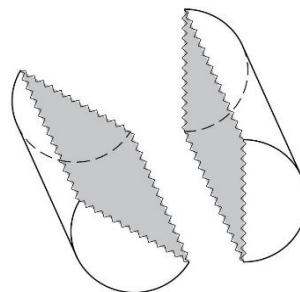
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **B10**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 7,46 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 0,89 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,40 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

## Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelovaných hydraulickými pojivy

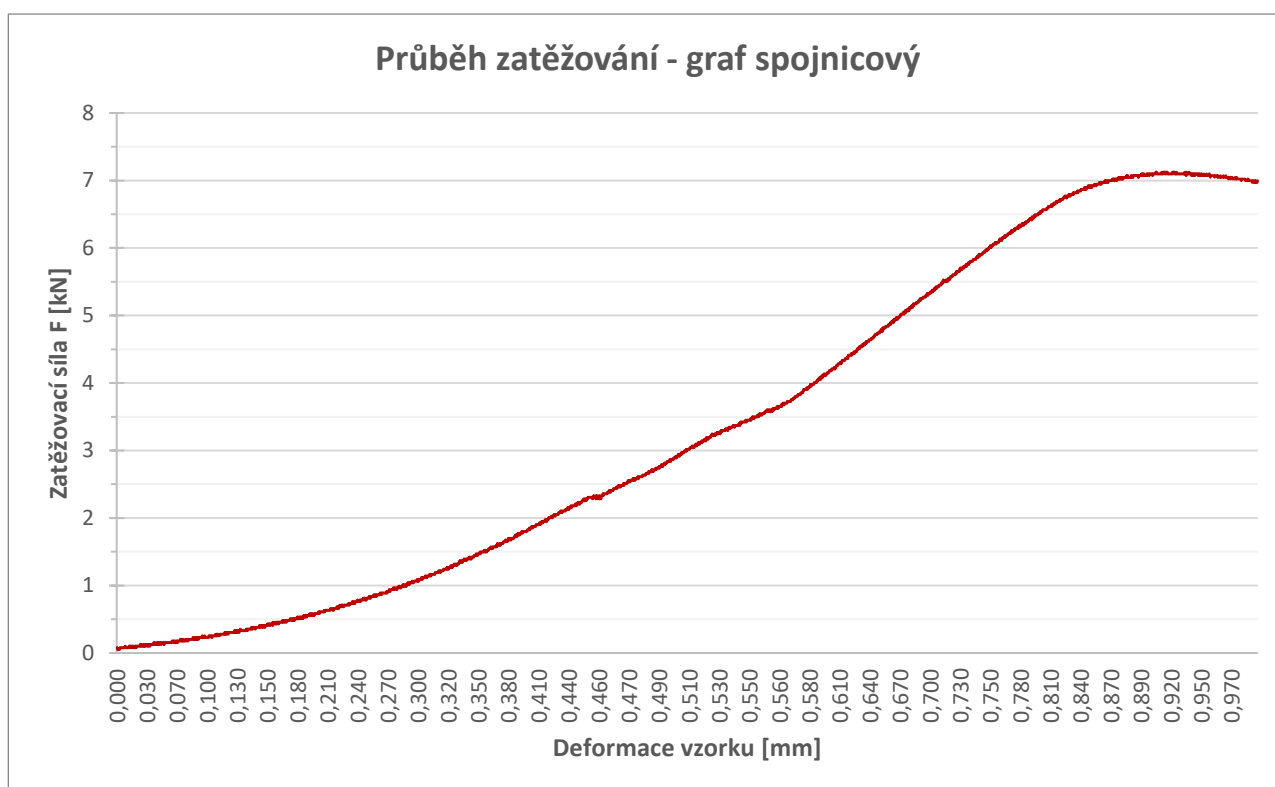
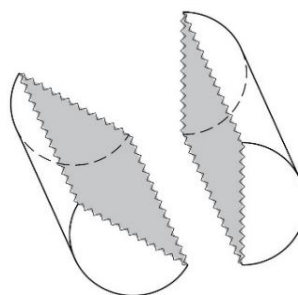
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **B11**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 7,12 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 0,91 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,38 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:



**Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelných hydraulickými pojivy**

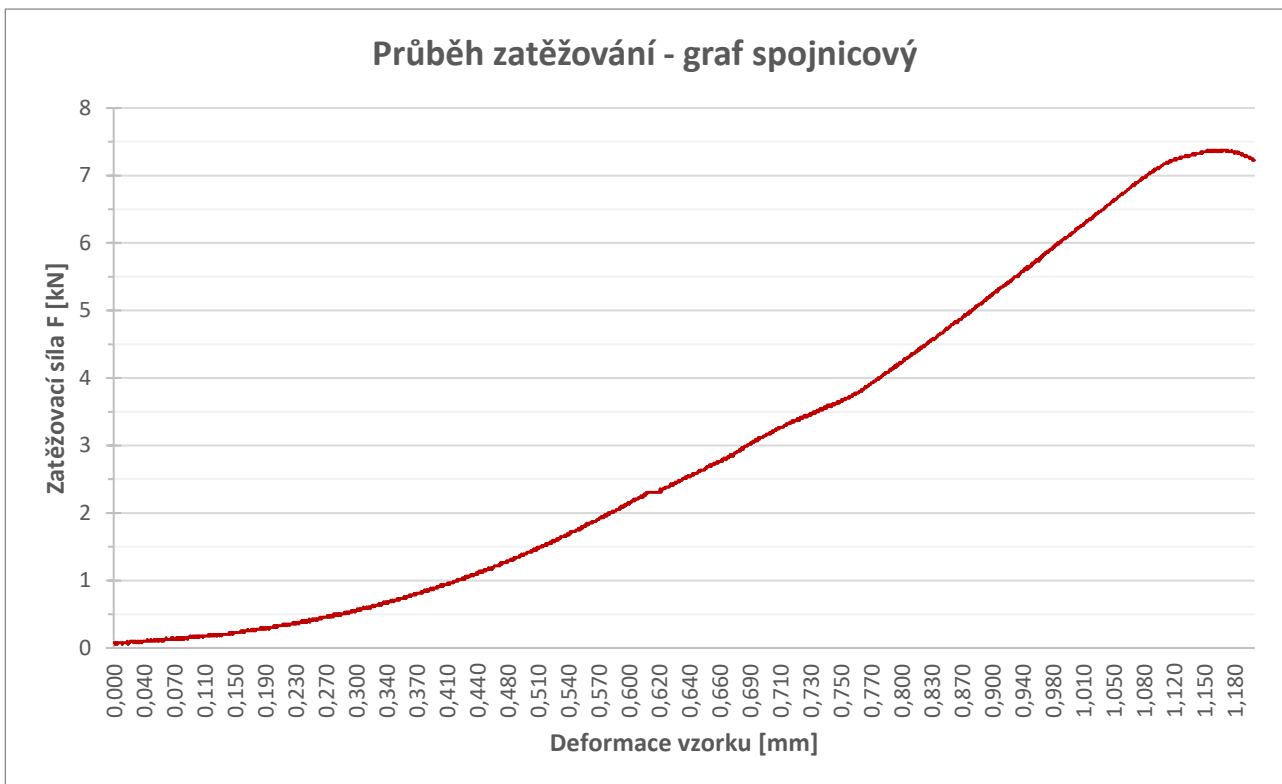
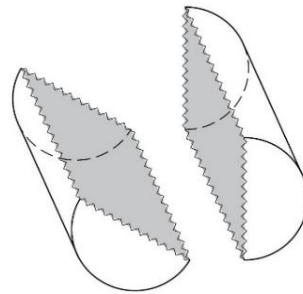
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **B12**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 7,38 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,15 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,39 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy

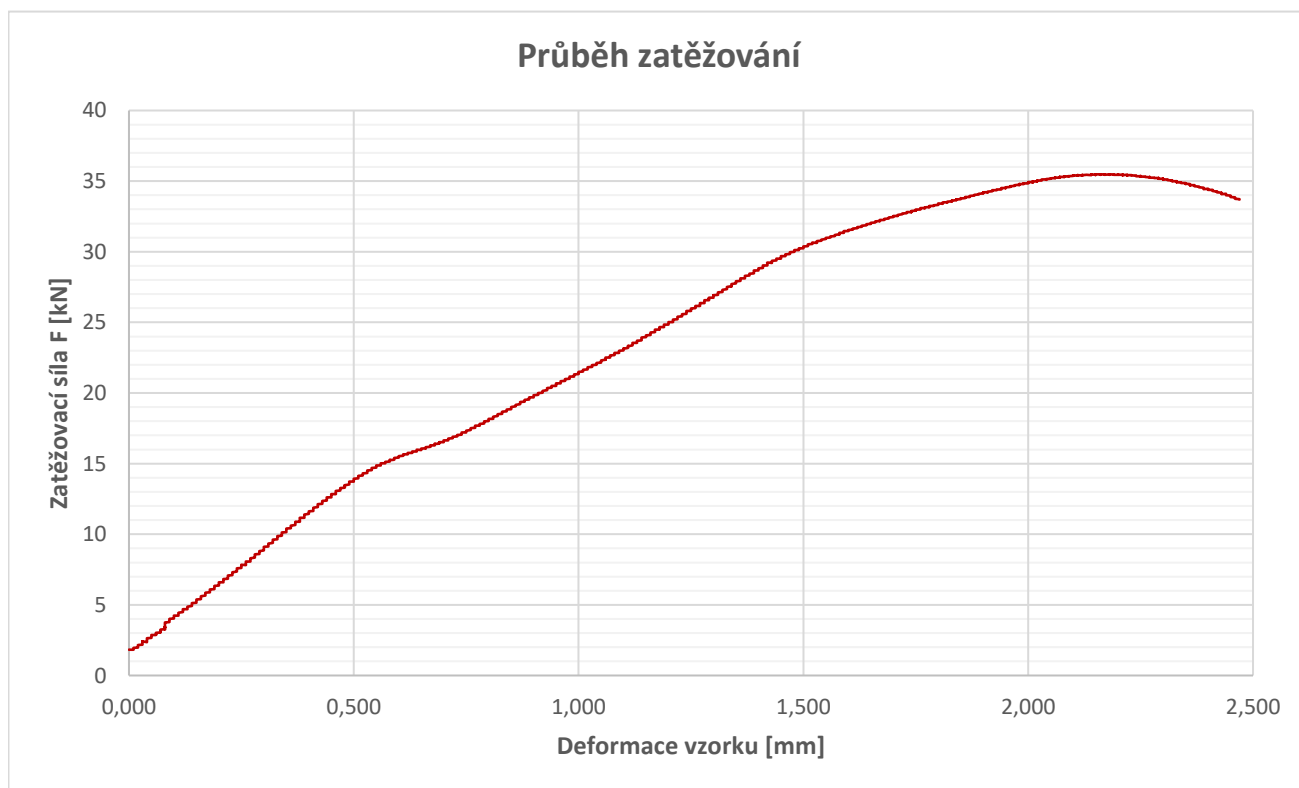
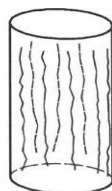
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **C01**

datum zkoušky: **23.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	35,48 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,14 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>4,52 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelných hydraulickými pojivy**

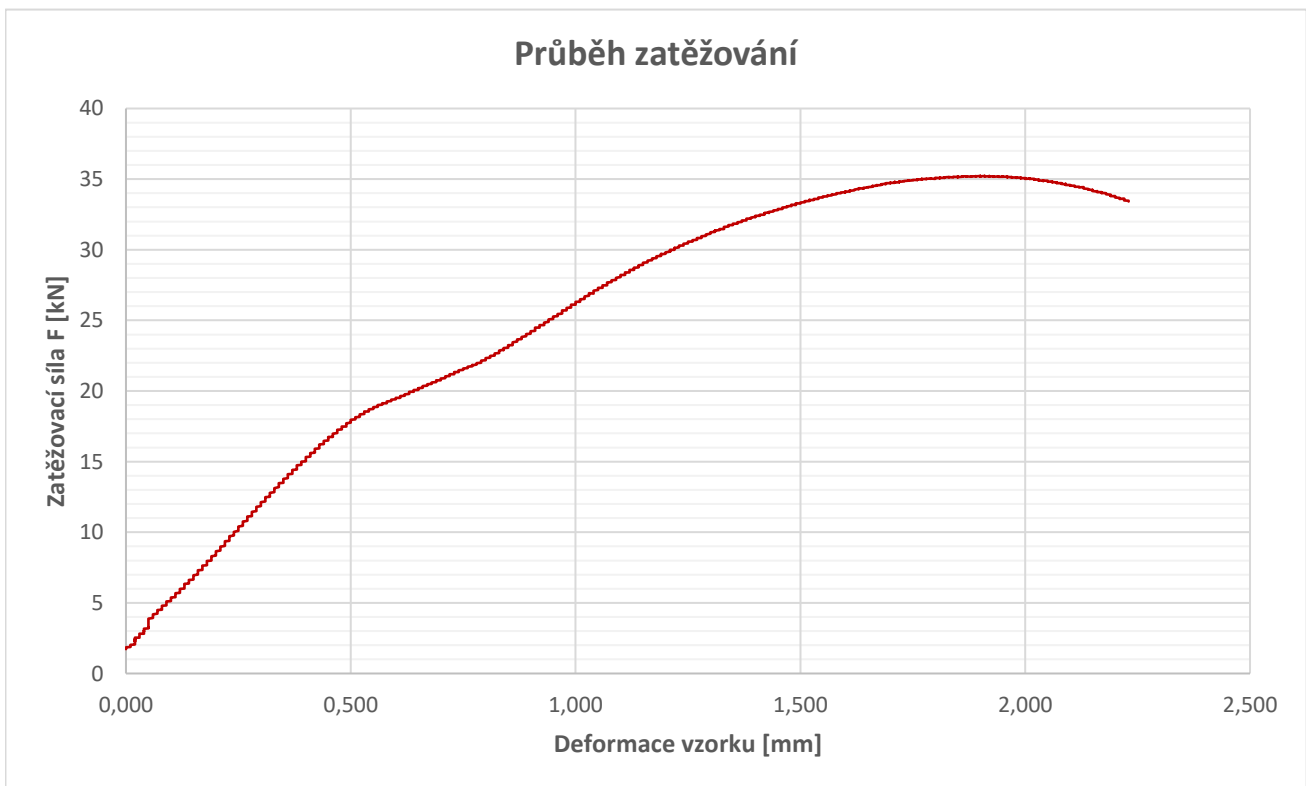
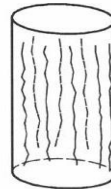
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **C02**

datum zkoušky: **23.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	35,22 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	1,89 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>4,48 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy

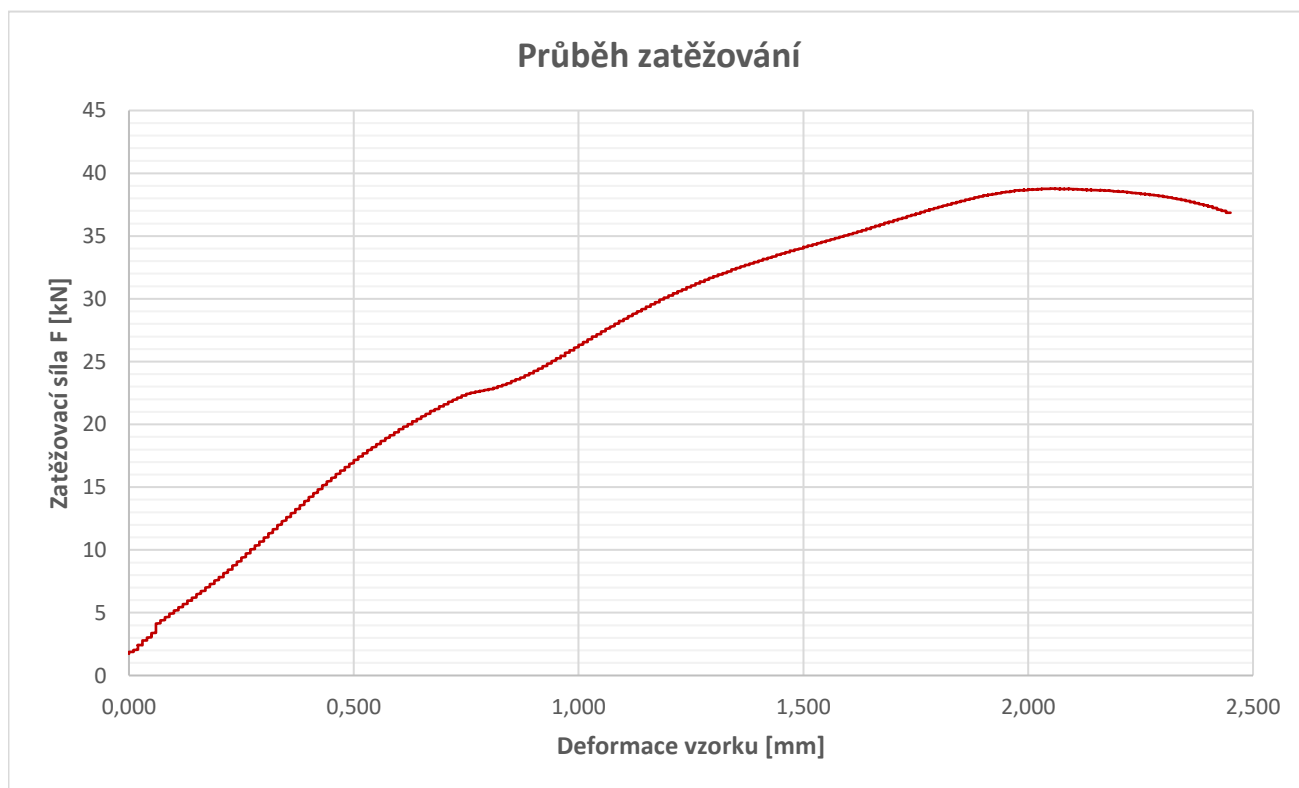
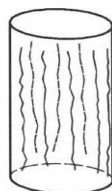
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **C03**

datum zkoušky: **23.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	38,79 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,05 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>4,94 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy

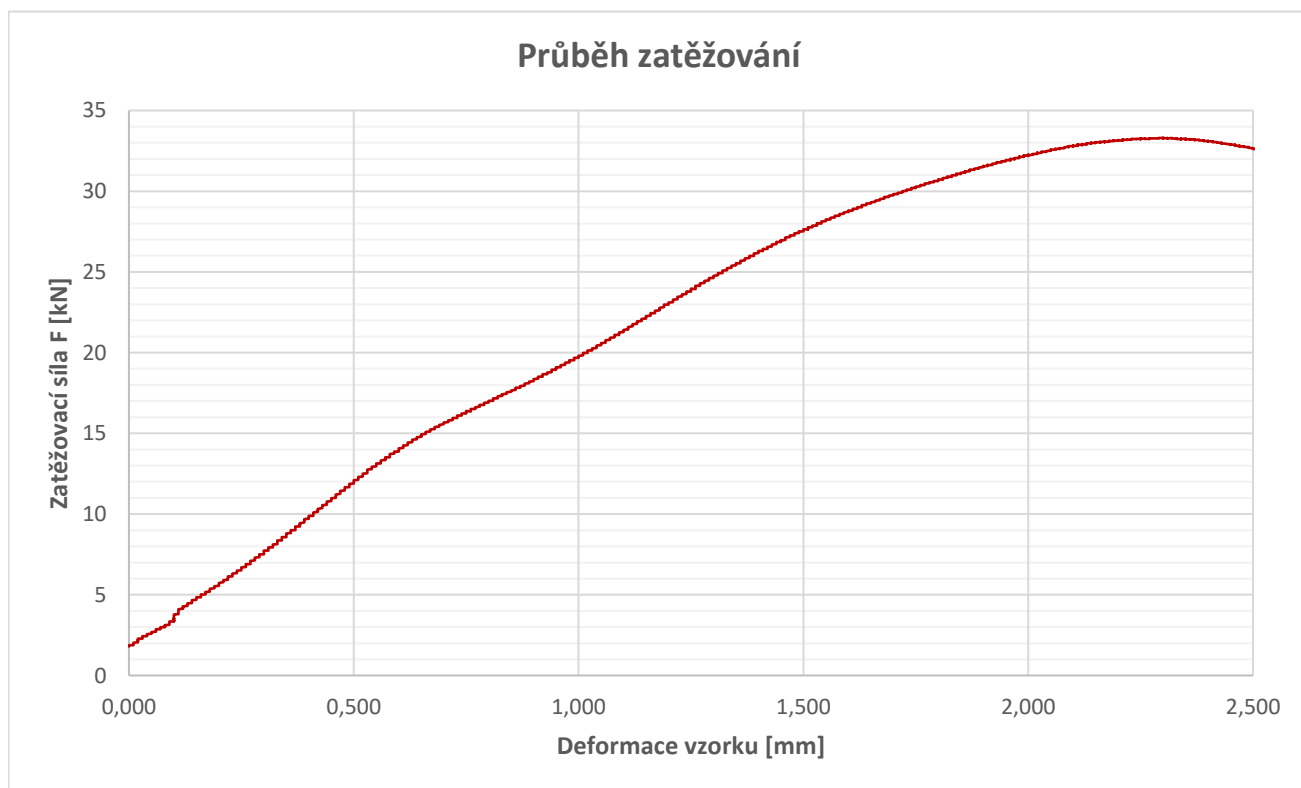
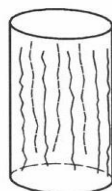
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **C05**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	33,30 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,29 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>4,24 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:



**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

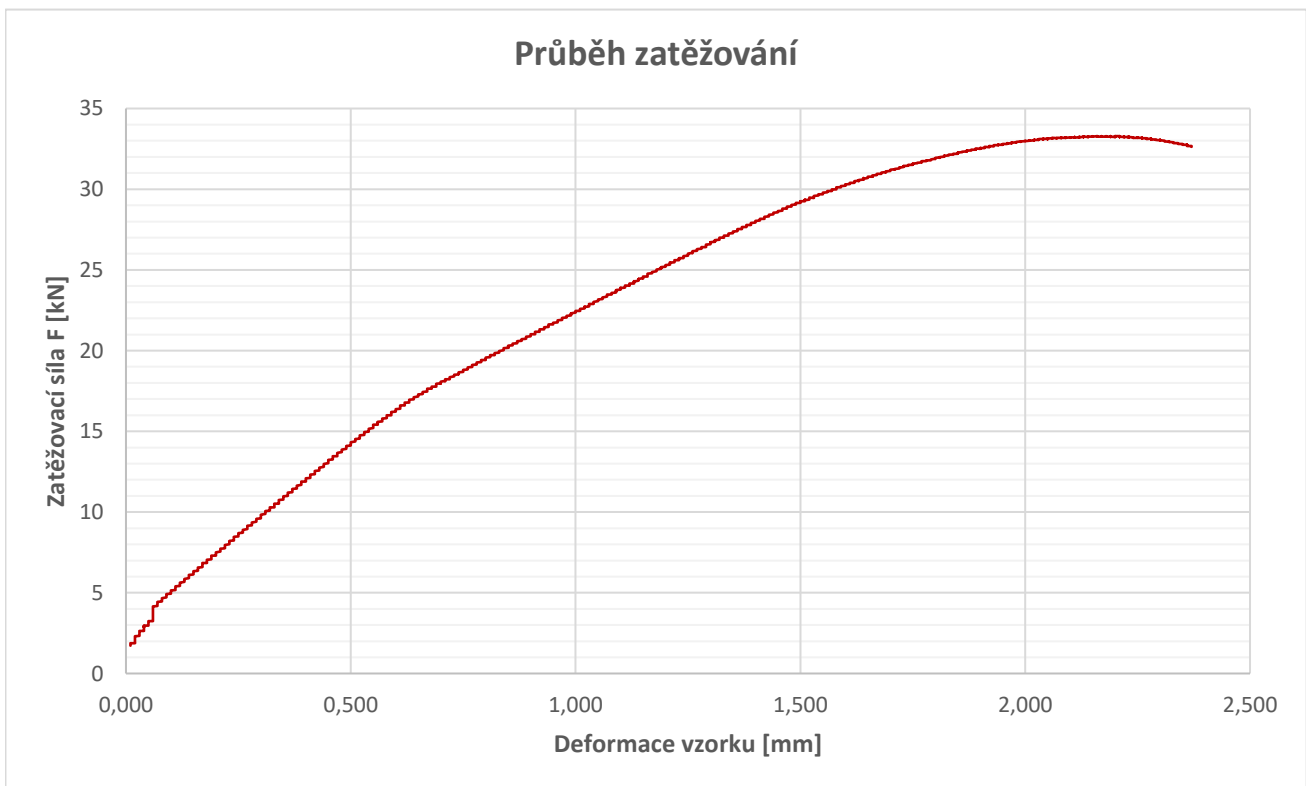
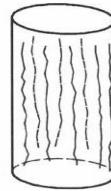
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **C06**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 33,29 kN  
Deformace vzorku při dosažené maximální síle: def= 2,15 mm  
Plocha průřezu tělesa: A<sub>c</sub>= 7853,98 mm<sup>2</sup>  
**Pevnost v tlaku:** R<sub>c</sub>= **4,24 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

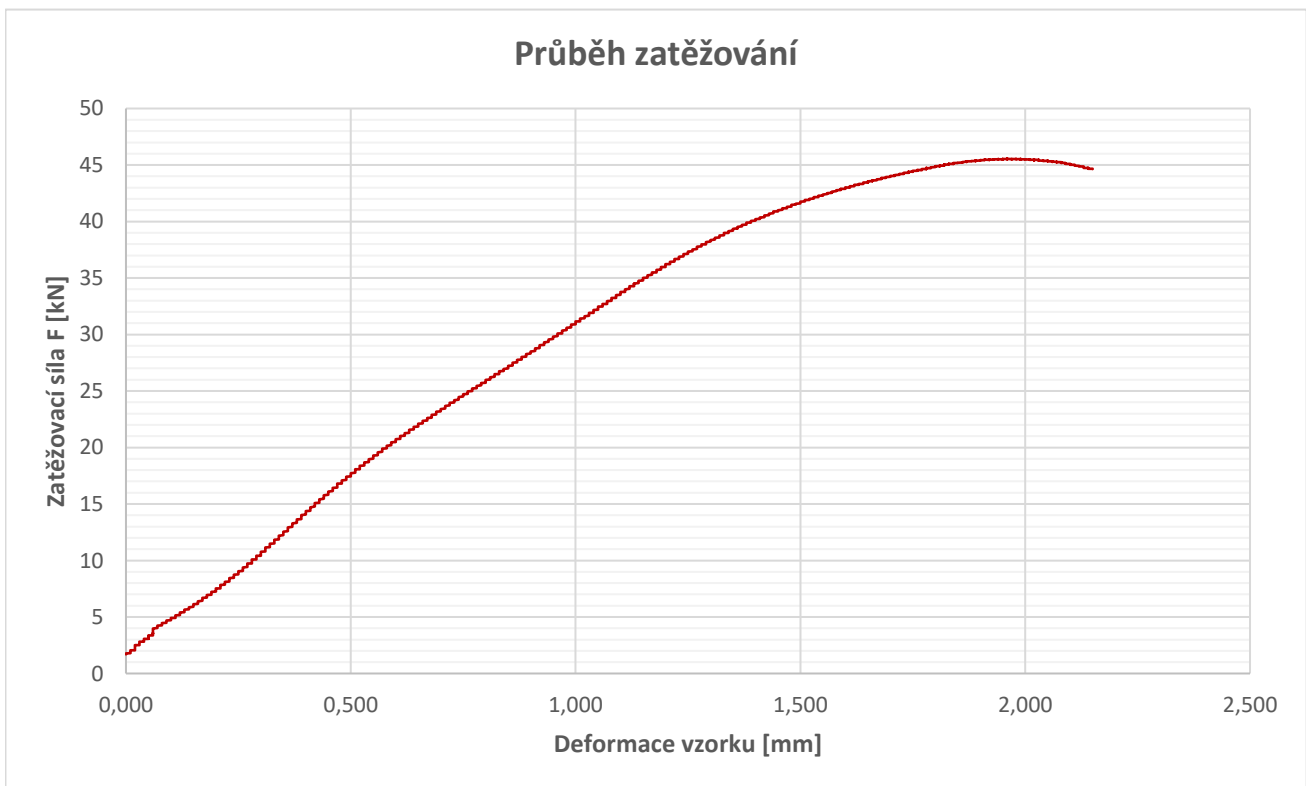
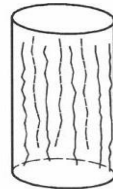
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **C07**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	45,56 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	1,96 mm
Plocha průřezu tělesa:	A <sub>c</sub> =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	<b>R<sub>c</sub>=</b>	<b>5,80 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelných hydraulickými pojivy

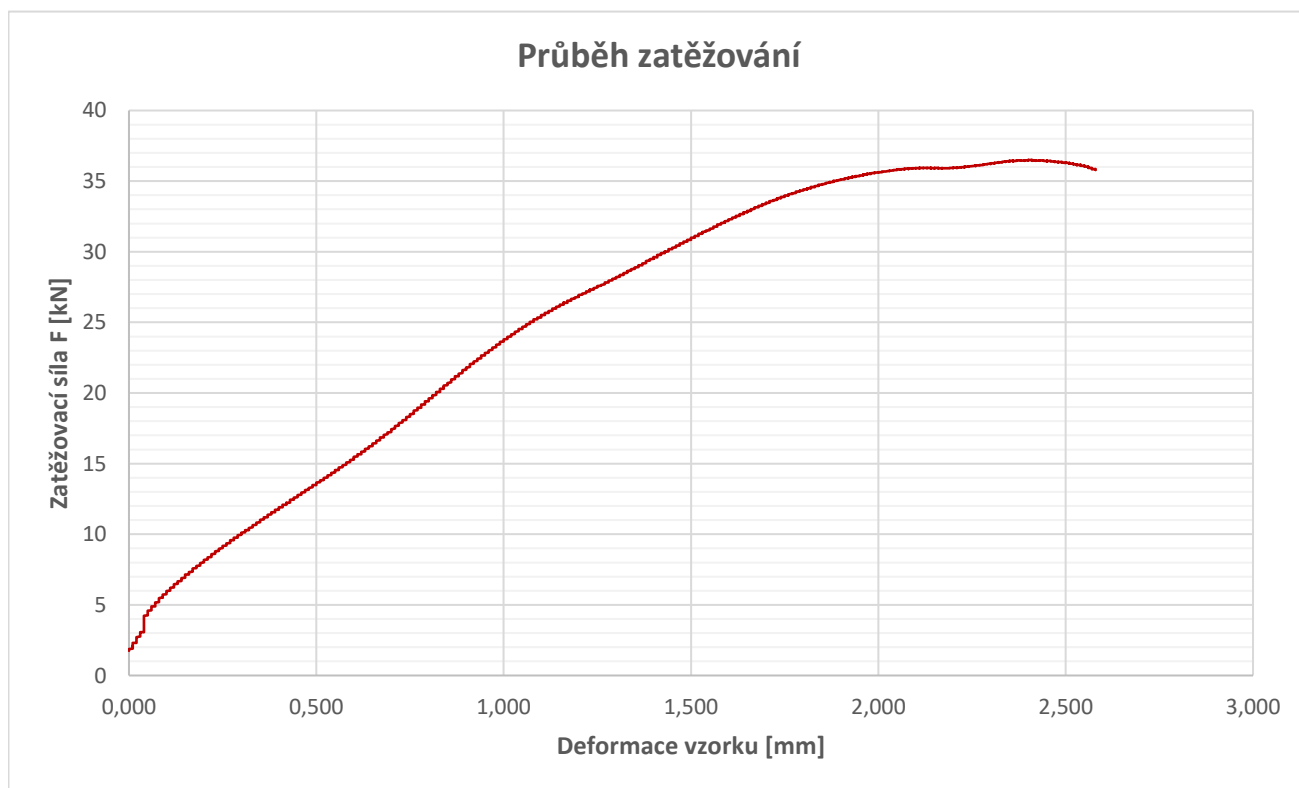
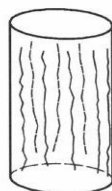
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **C08**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	36,49 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,4 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c=$	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	<b><math>R_c=</math></b>	<b>4,65 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelných hydraulickými pojivy**

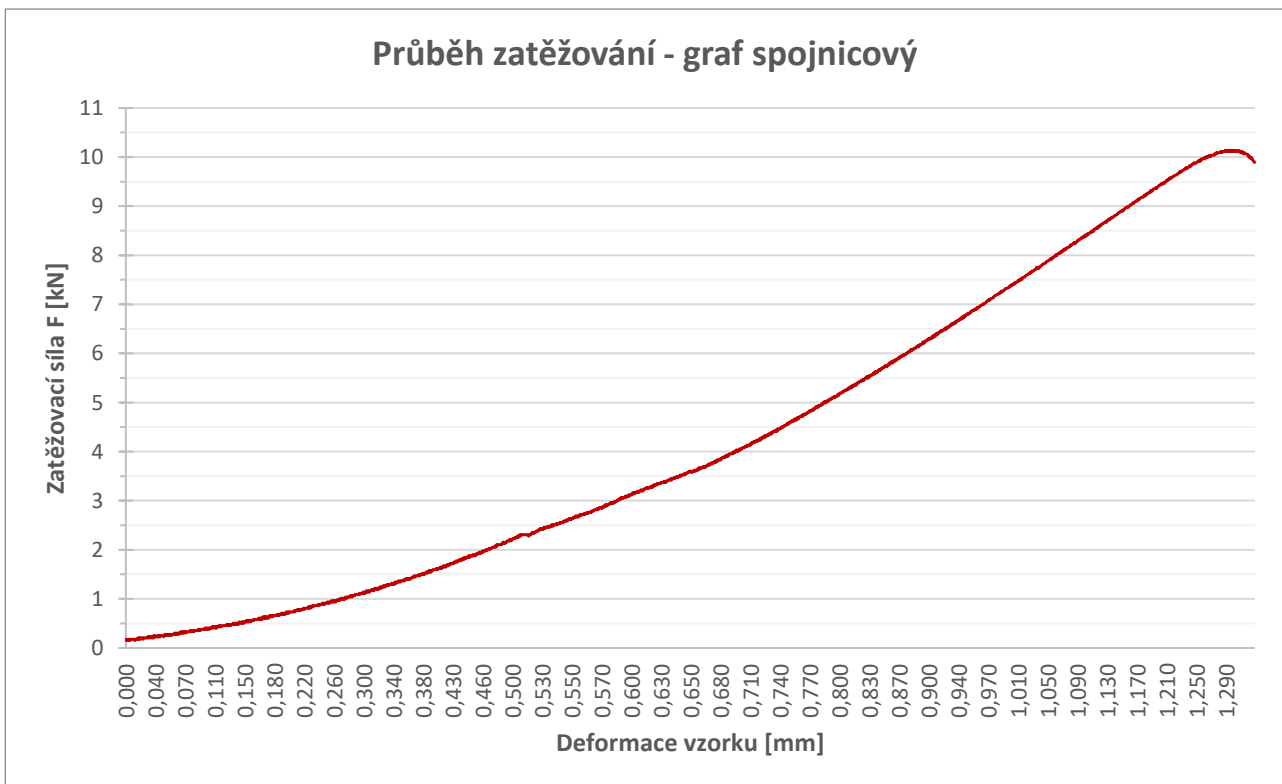
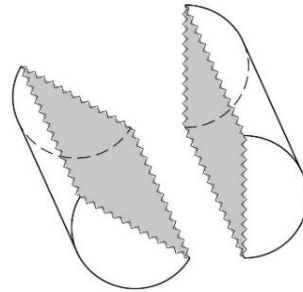
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **C09**

datum zkoušky: **14.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 10,14 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,29 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,54 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy**

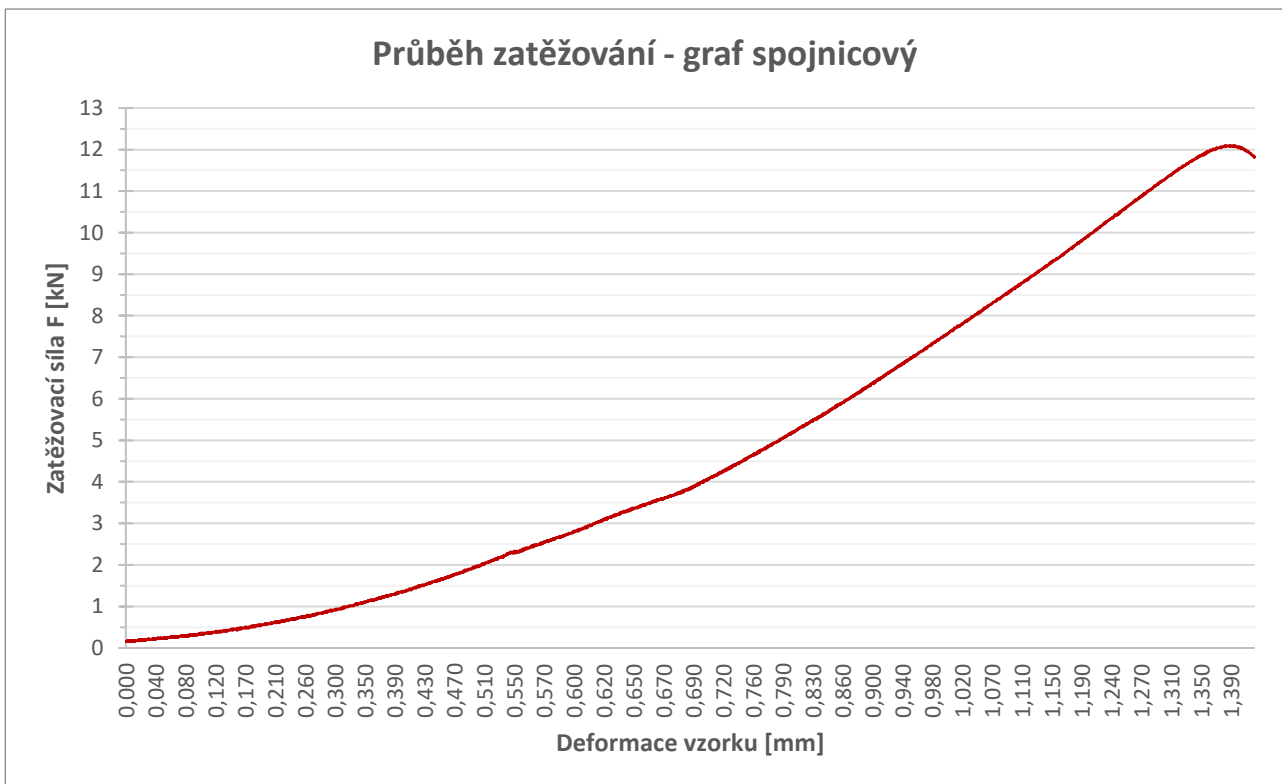
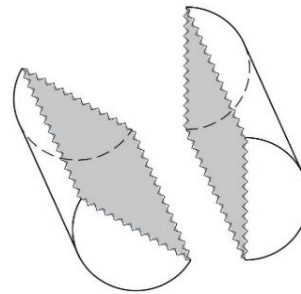
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **C10**

datum zkoušky: **14.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 12,09 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,38 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,64 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelných hydraulickými pojivy**

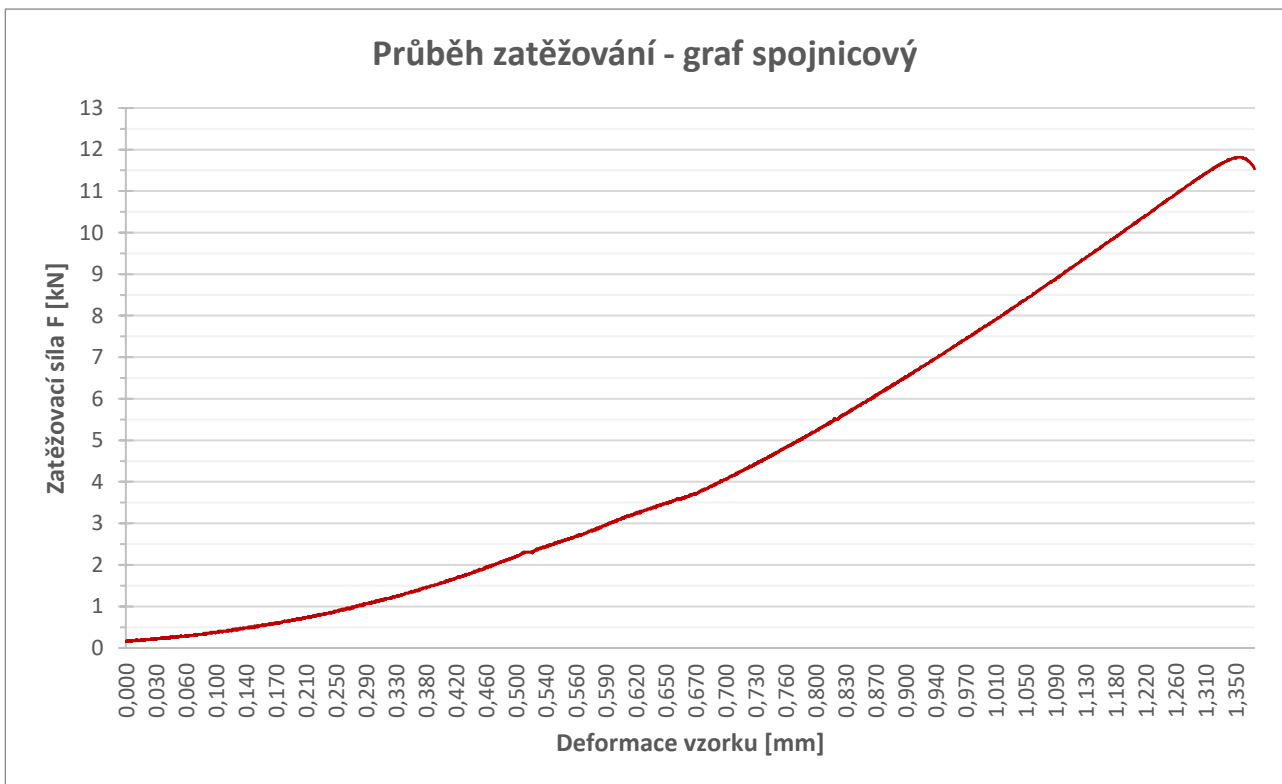
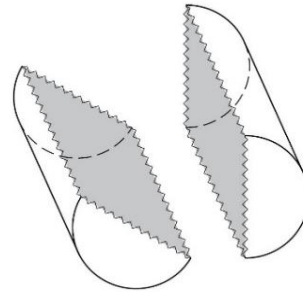
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **C11**

datum zkoušky: **14.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 11,81 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,35 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,63 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy**

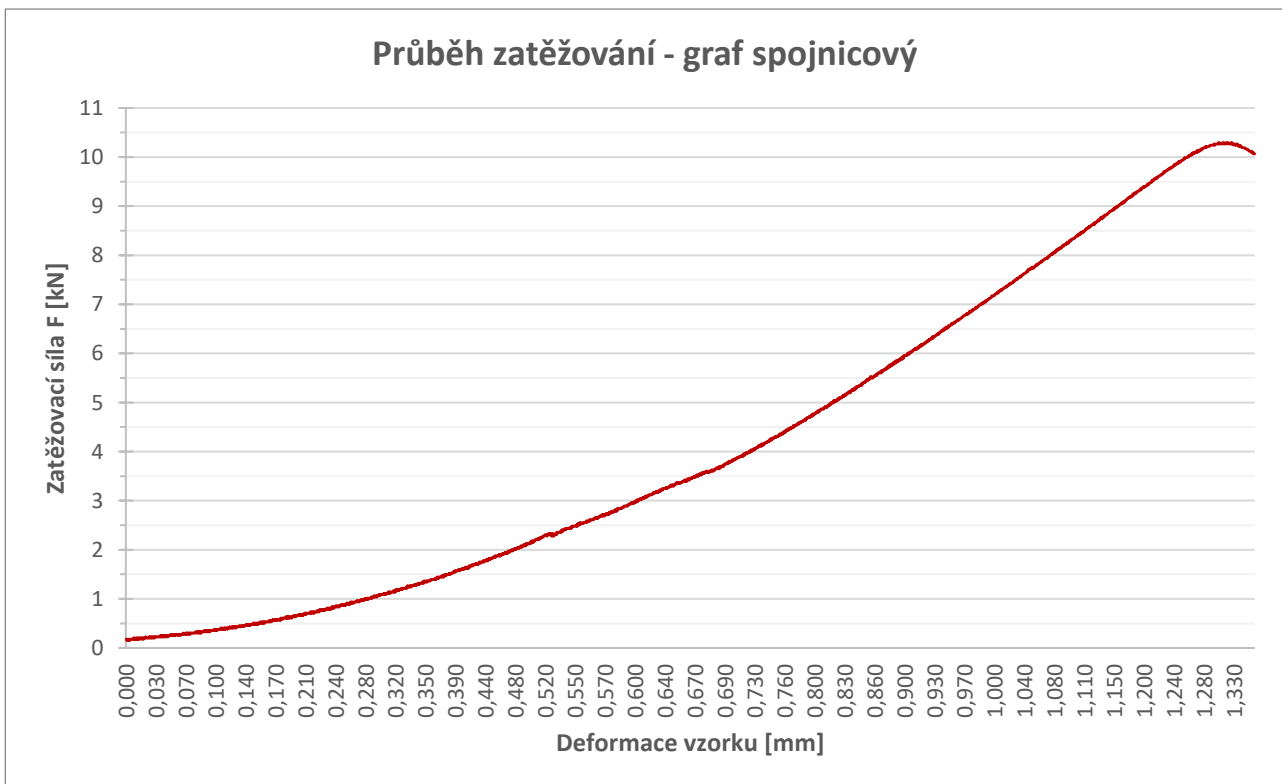
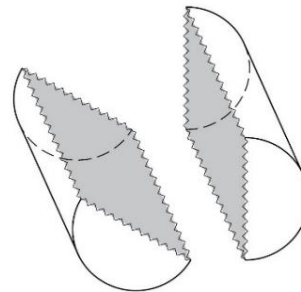
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **C12**

datum zkoušky: **14.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 10,29 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,3 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,55 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy

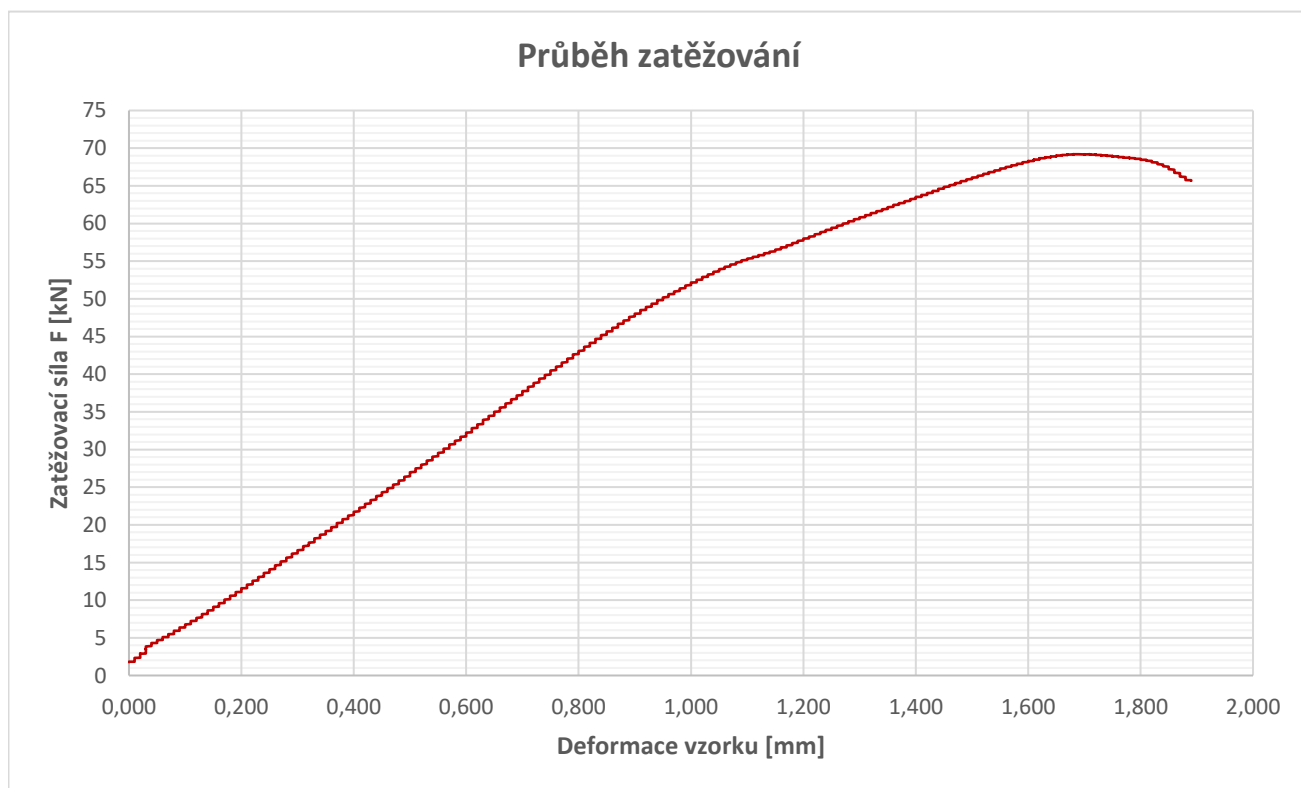
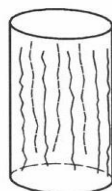
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **D01**

datum zkoušky: **11.09.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	69,20 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	1,68 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	<b><math>R_c</math>=</b>	<b>8,81 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:



**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

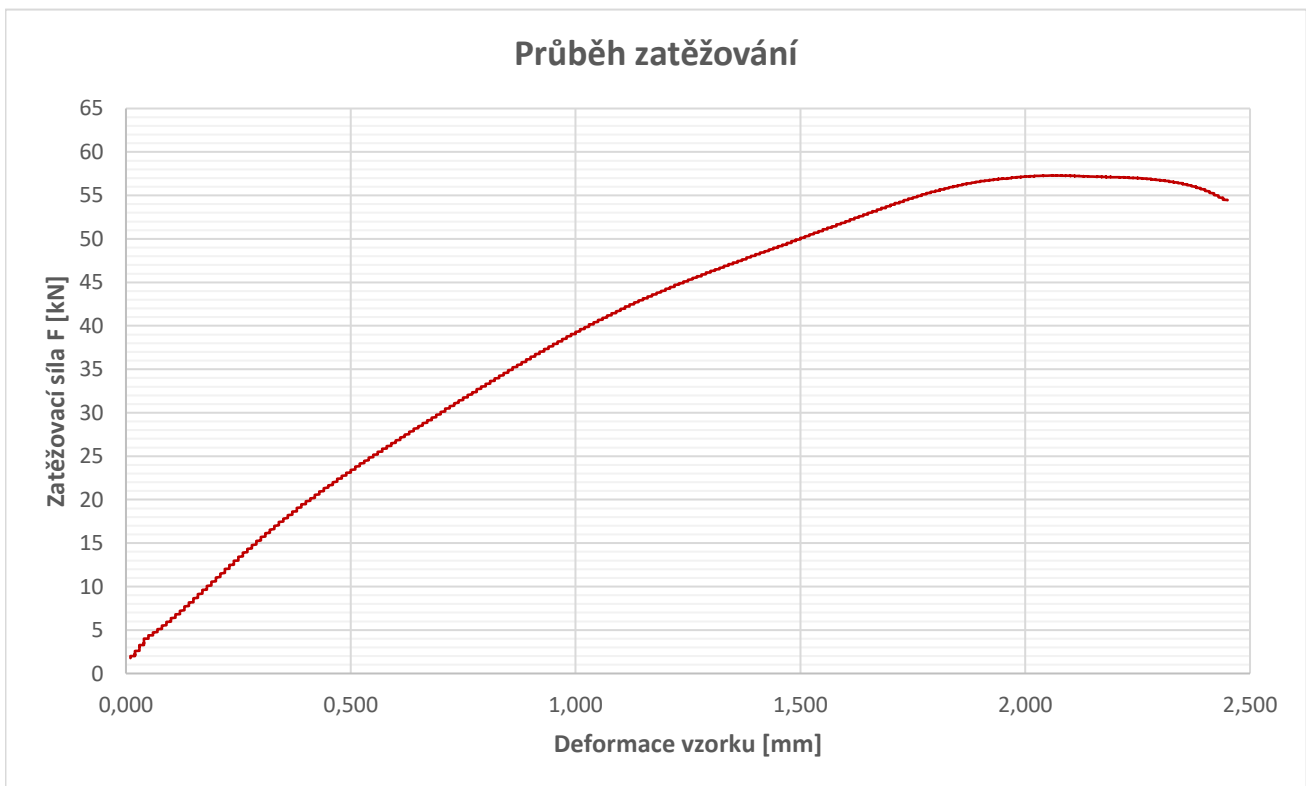
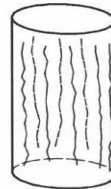
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **D02**

datum zkoušky: **13.09.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 57,32 kN  
Deformace vzorku při dosažené maximální síle: def= 2,06 mm  
Plocha průřezu tělesa: A<sub>c</sub>= 7853,98 mm<sup>2</sup>  
**Pevnost v tlaku:** R<sub>c</sub>= **7,30 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

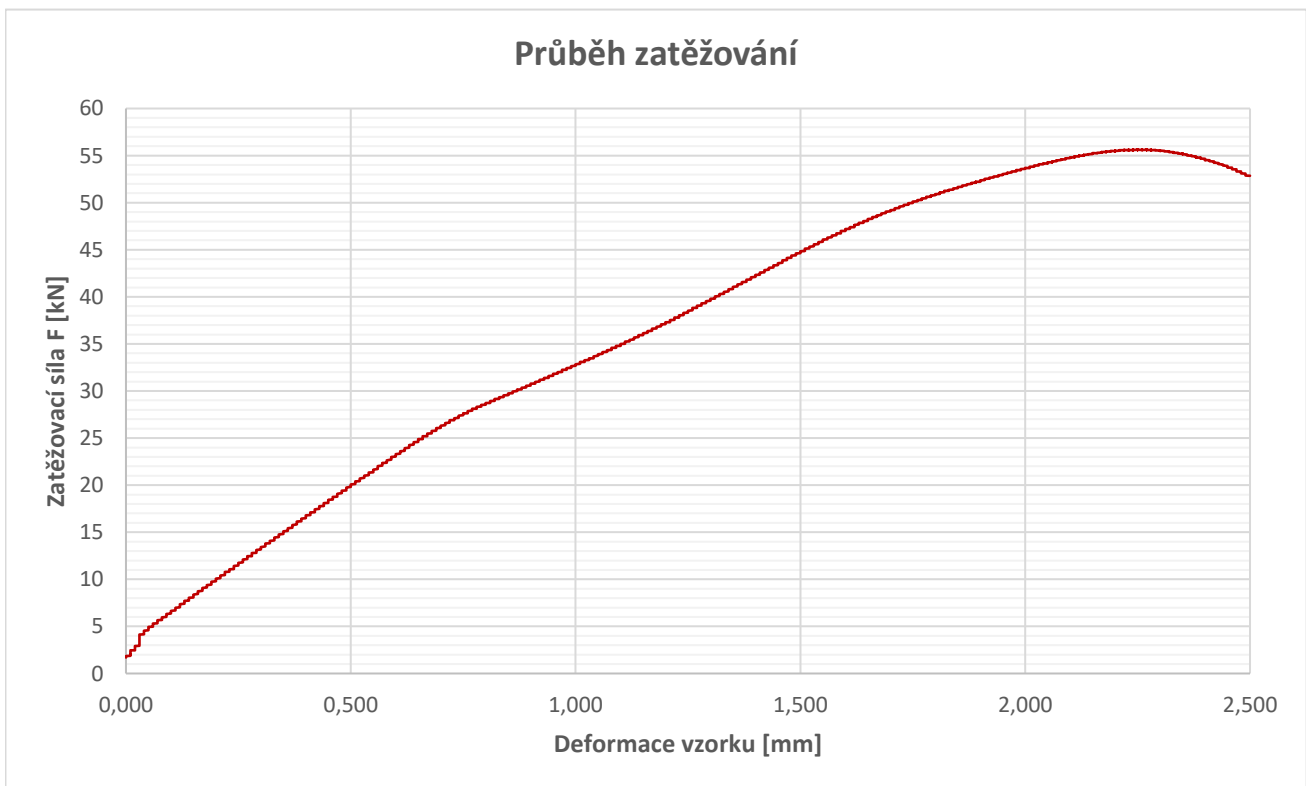
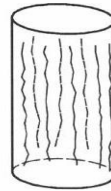
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **D03**

datum zkoušky: **14.09.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	55,62 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,23 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>7,08 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelných hydraulickými pojivy**

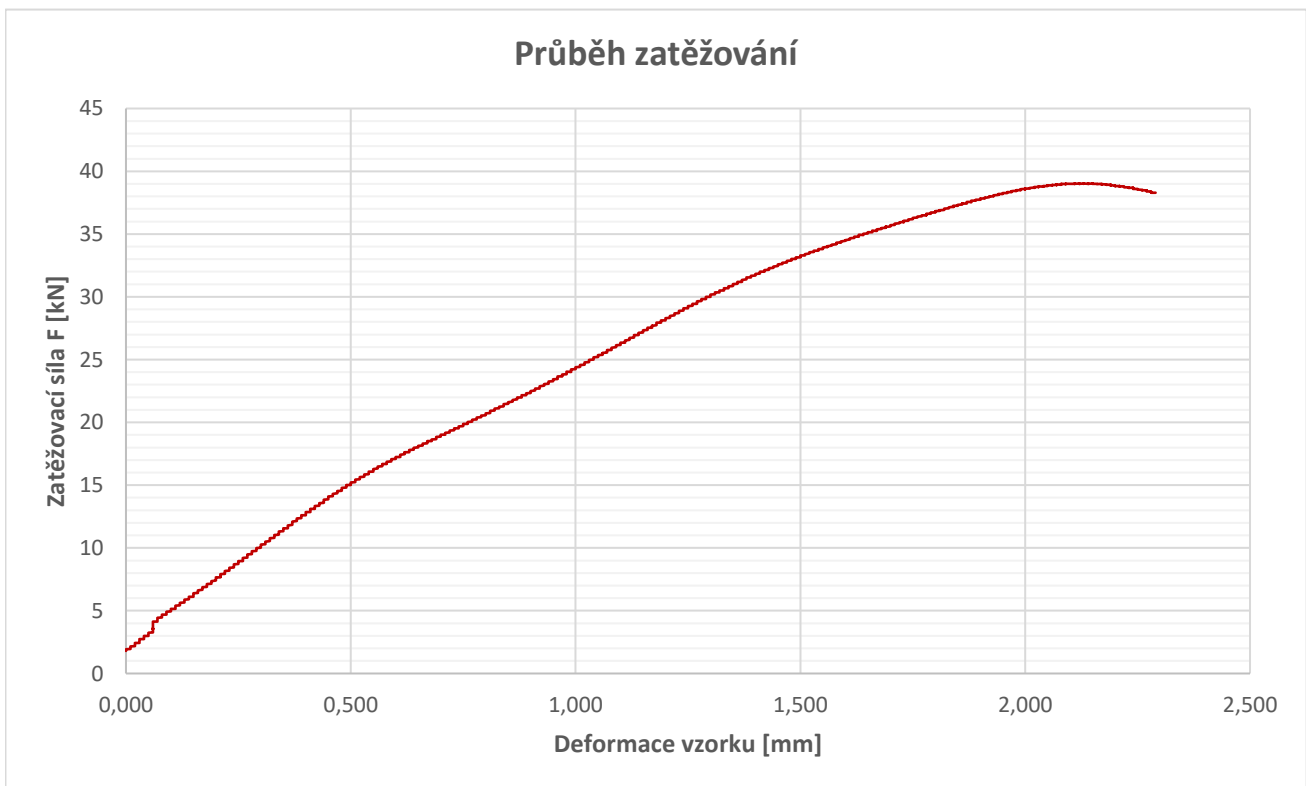
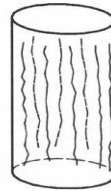
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **D05**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 39,03 kN  
Deformace vzorku při dosažené maximální síle: def= 2,11 mm  
Plocha průřezu tělesa: A<sub>c</sub>= 7853,98 mm<sup>2</sup>  
**Pevnost v tlaku:** R<sub>c</sub>= **4,97 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

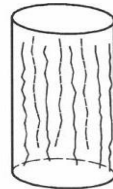
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **D06**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 27,94 kN  
Deformace vzorku při dosažené maximální síle: def= 2,53 mm  
Plocha průřezu tělesa: A<sub>c</sub>= 7853,98 mm<sup>2</sup>  
**Pevnost v tlaku: R<sub>c</sub>= 3,56 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy

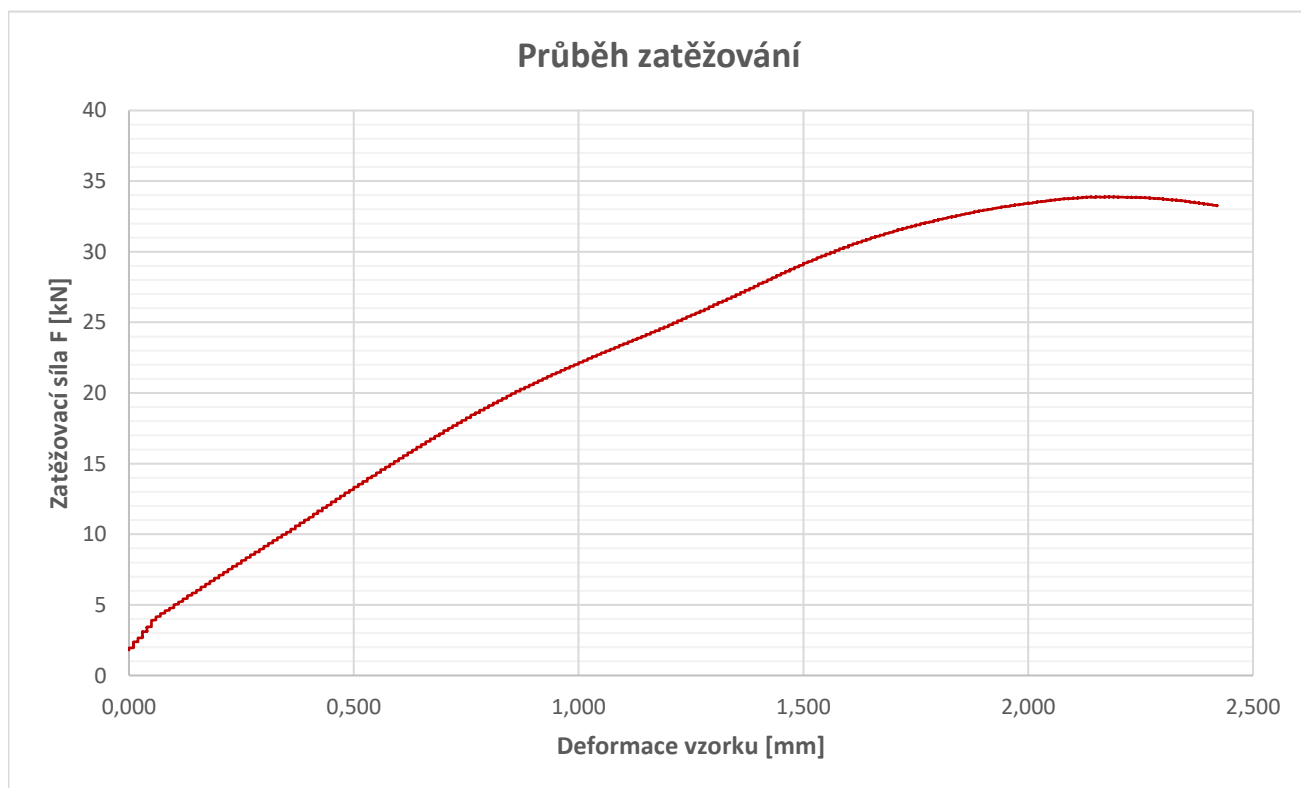
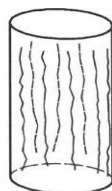
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **D08**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	33,89 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,14 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>4,32 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

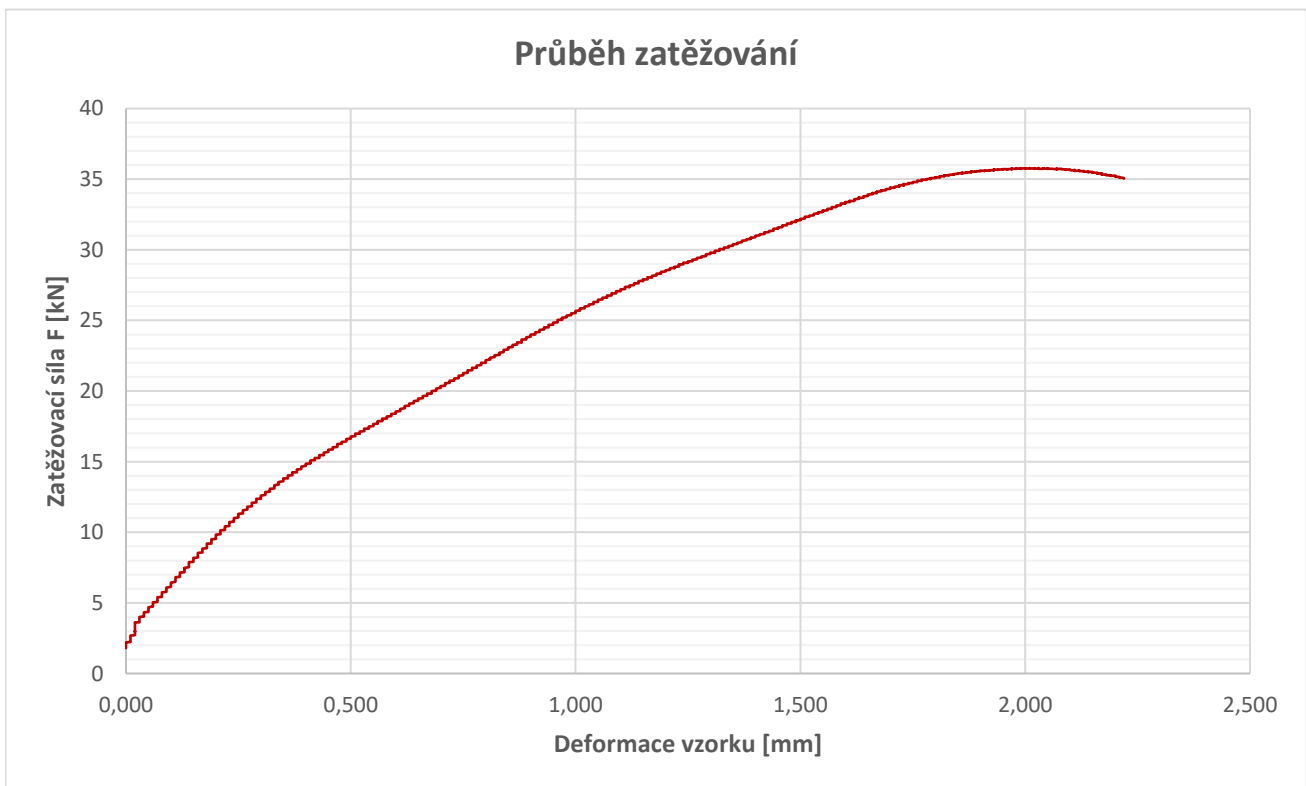
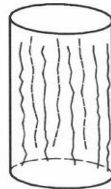
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **D09**

datum zkoušky: **13.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	35,78 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,01 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c=$	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	<b><math>R_c=</math></b>	<b>4,56 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy**

Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

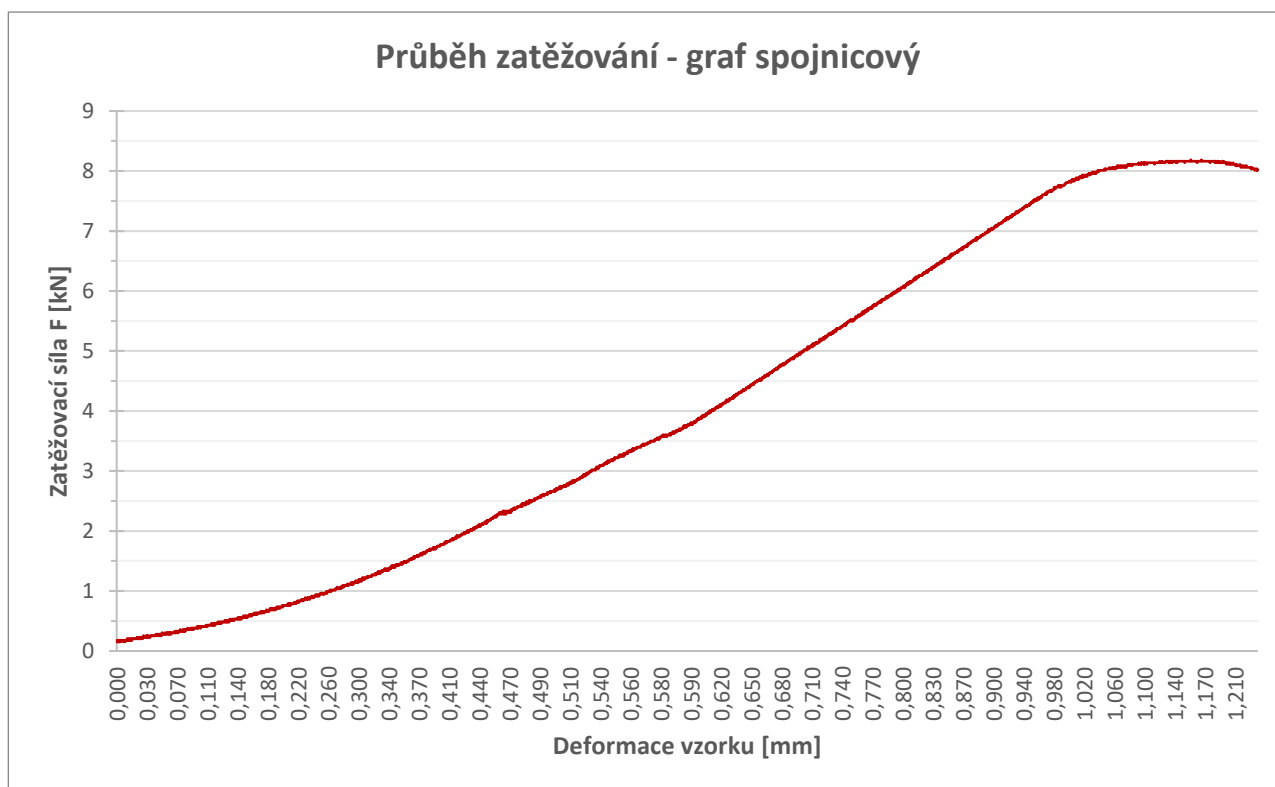
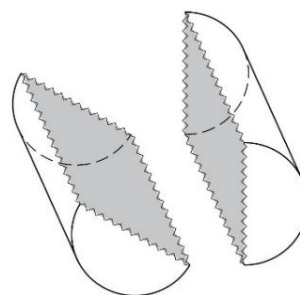
Označení vzorku: **D07**

datum zkoušky: **14.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 8,19 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,16 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,43 Mpa**

Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

### Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelěných hydraulickými pojivy

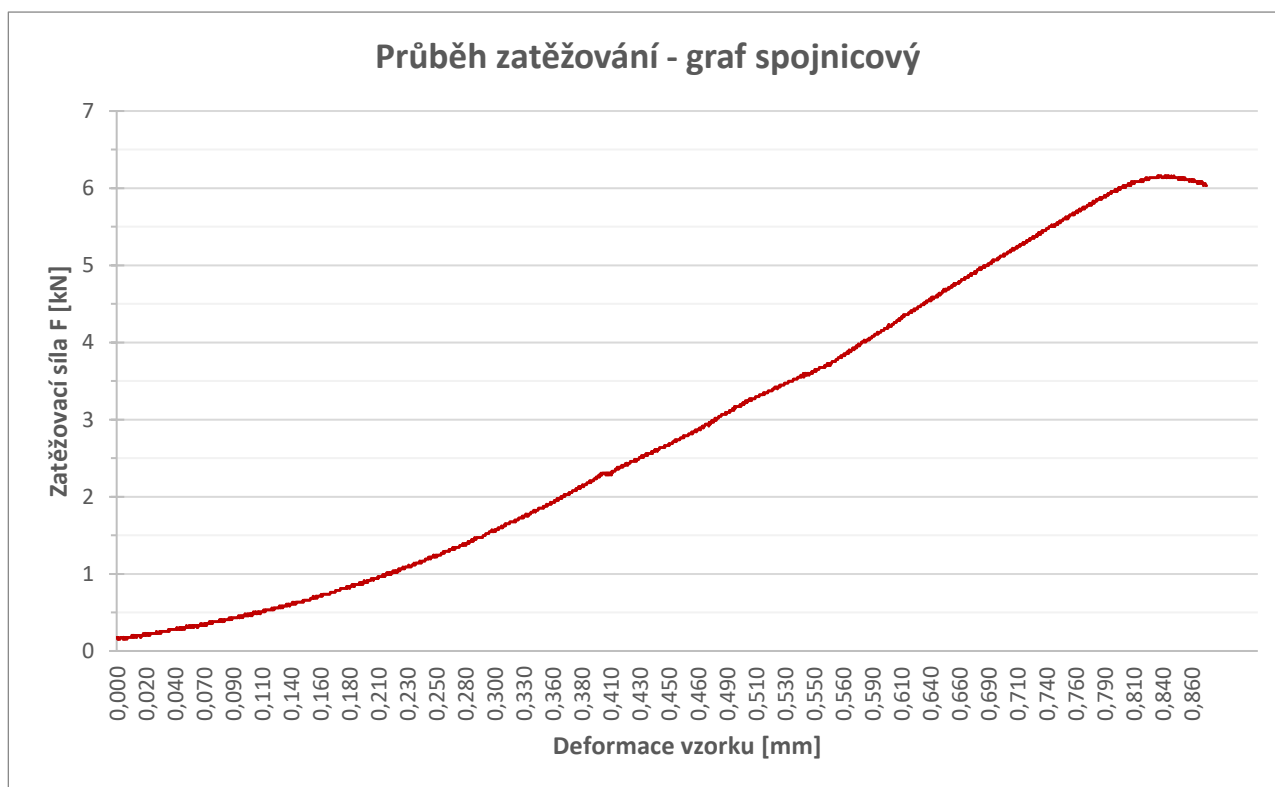
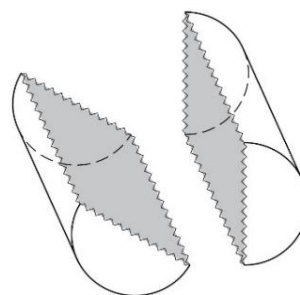
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **D10**

datum zkoušky: **14.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 6,16 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 0,84 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,33 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:



## Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy

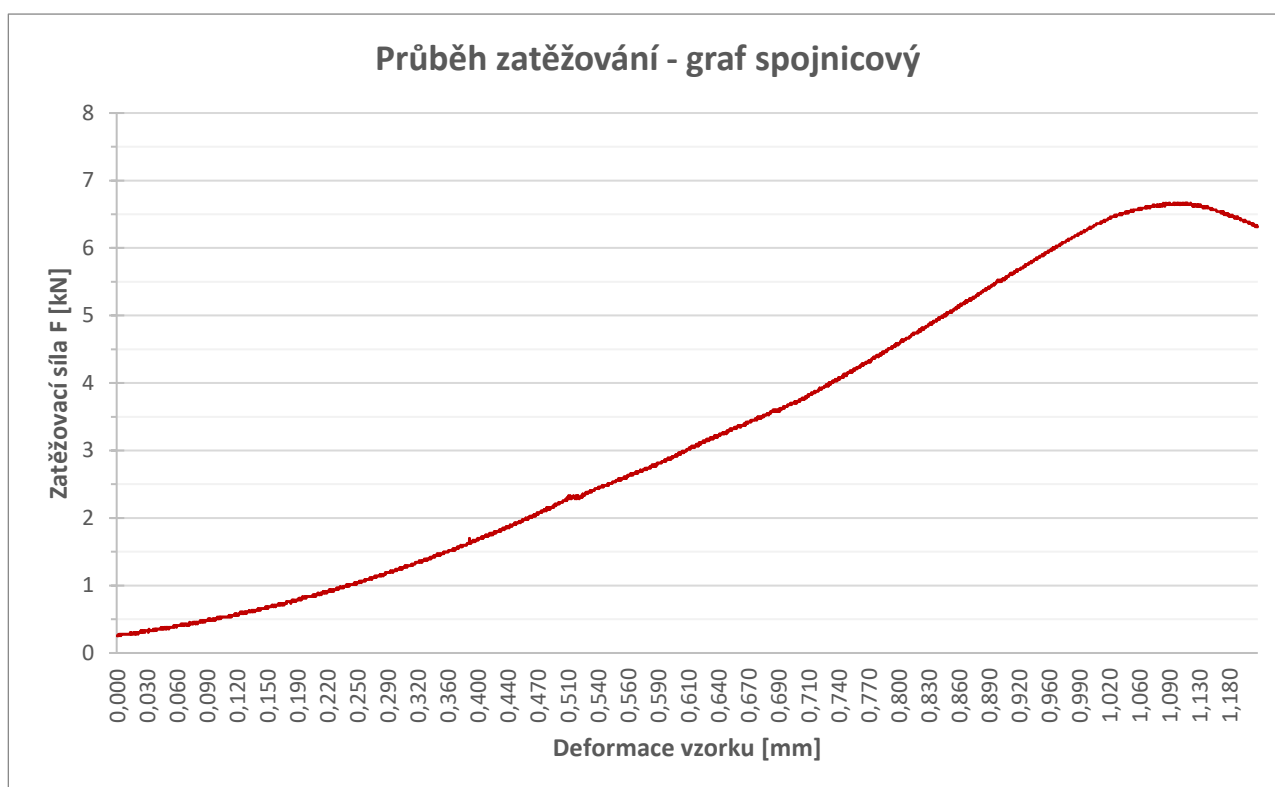
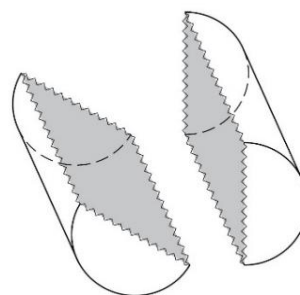
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **D11**

datum zkoušky: **14.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
 Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
 Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 6,67 kN  
 Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,09 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,35 Mpa**  
 Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:



**Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelných hydraulickými pojivy**

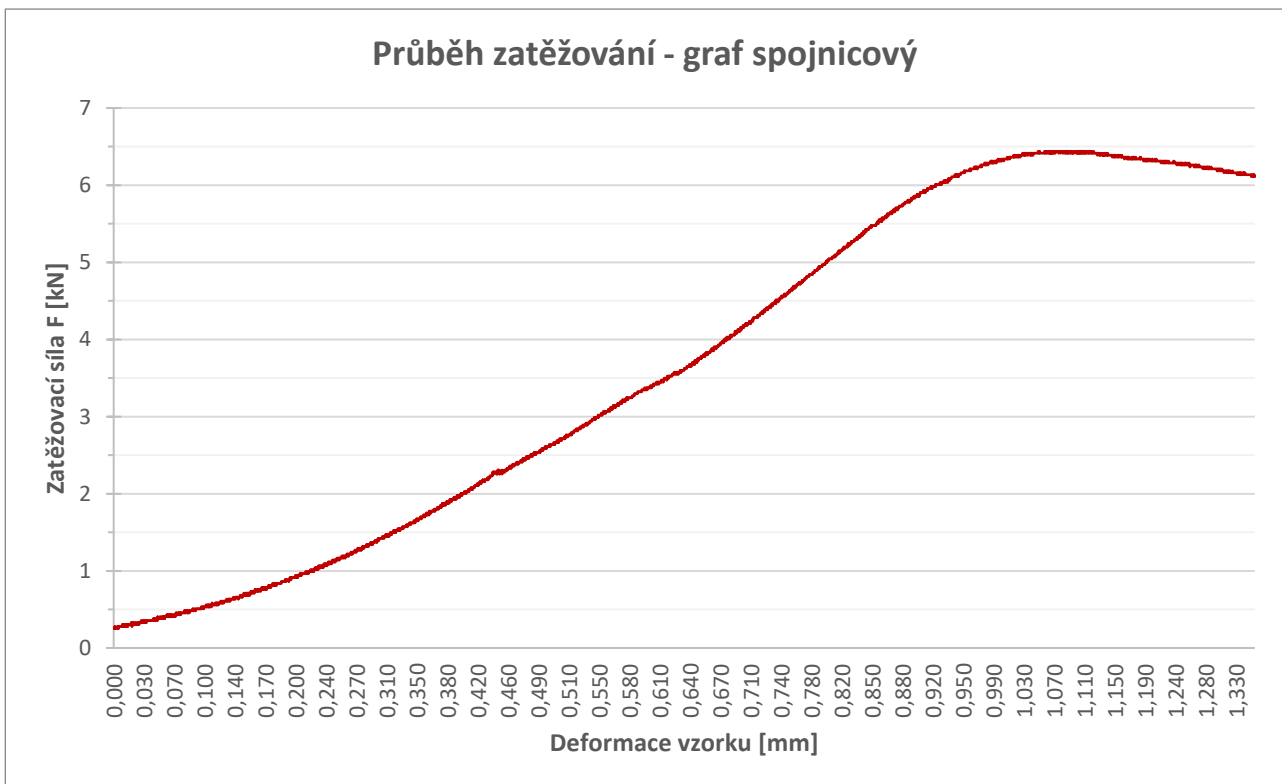
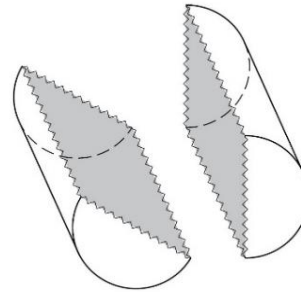
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **D12**

datum zkoušky: **14.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 6,44 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,05 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,34 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelných hydraulickými pojivy**

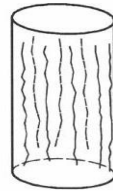
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **E01**

datum zkoušky: **14.09.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	42,54 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,35 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>5,42 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelných hydraulickými pojivy**

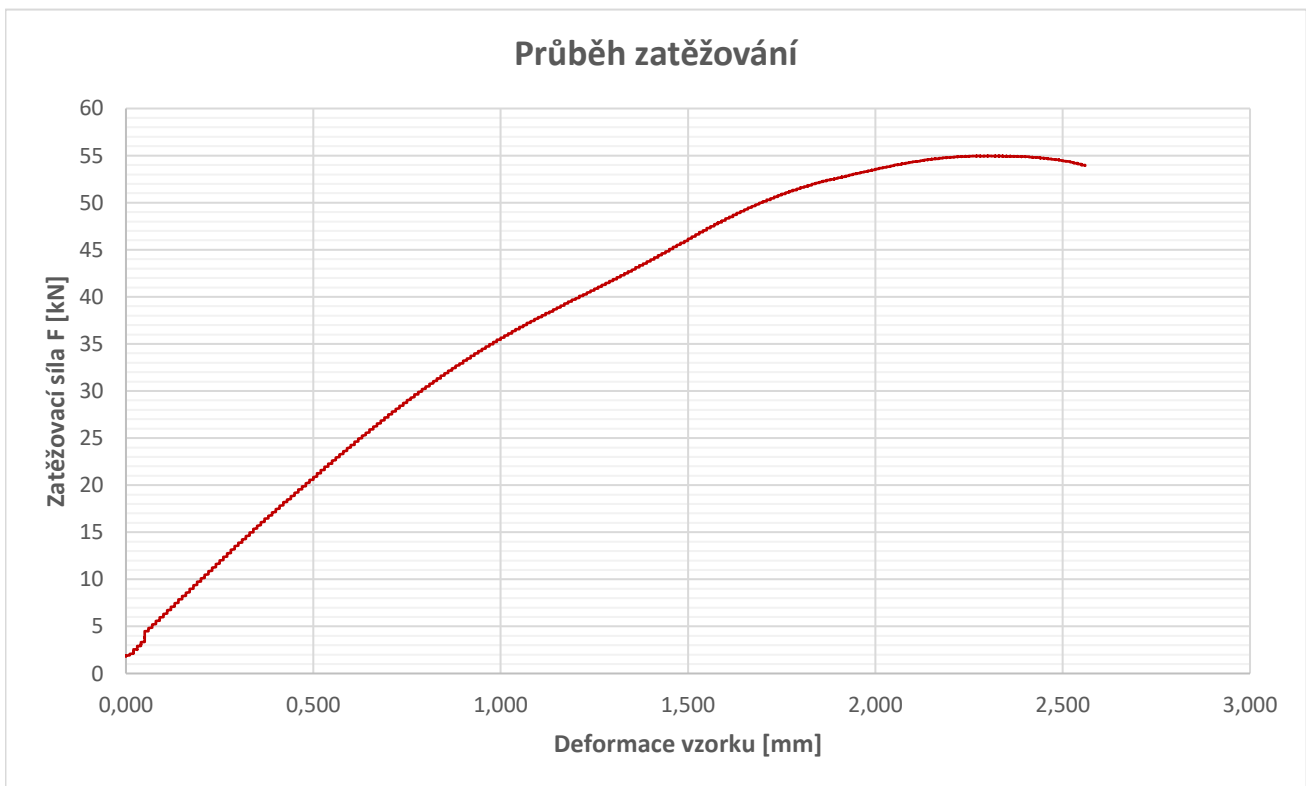
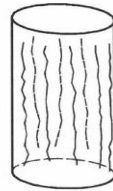
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **E02**

datum zkoušky: **14.09.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	54,96 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,26 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c=$	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	<b><math>R_c=</math></b>	<b>7,00 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

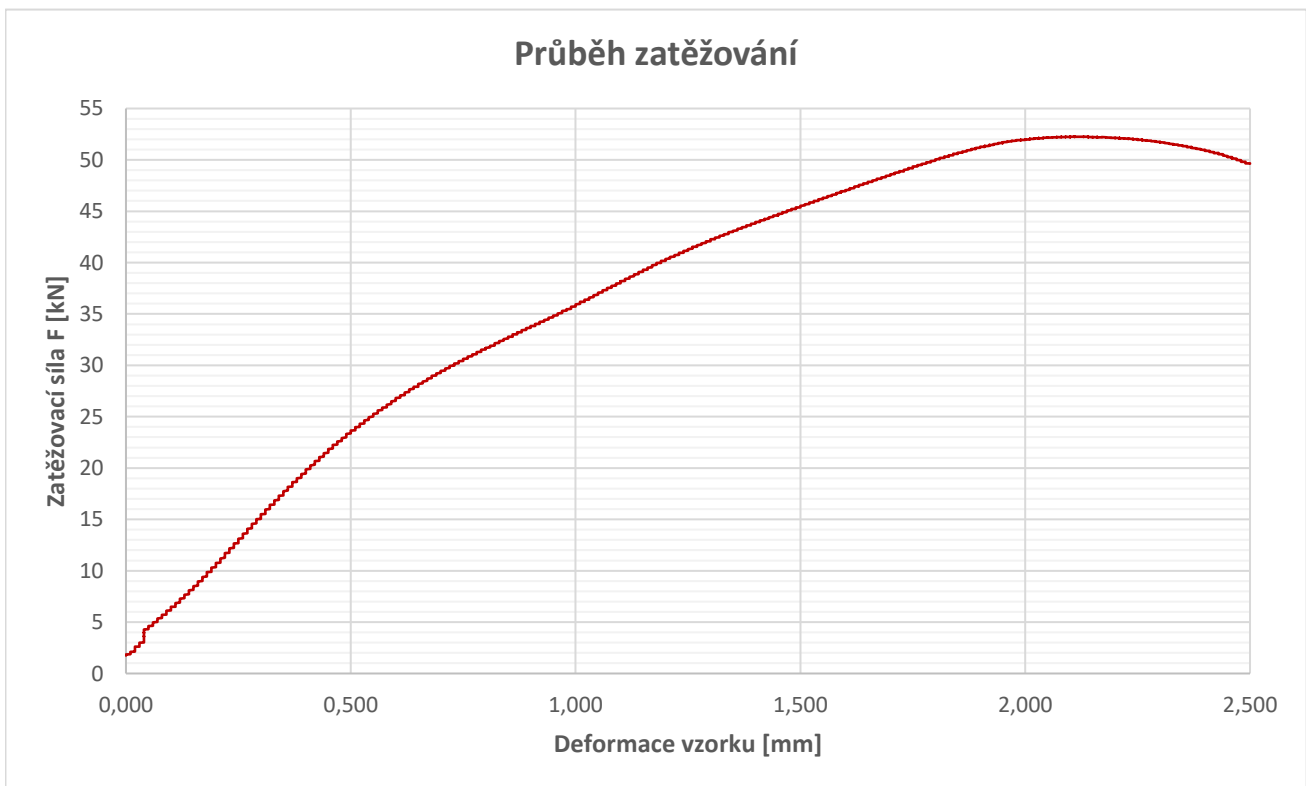
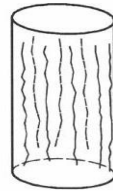
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **E03**

datum zkoušky: **14.09.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 52,27 kN  
Deformace vzorku při dosažené maximální síle: def= 2,11 mm  
Plocha průřezu tělesa: A<sub>c</sub>= 7853,98 mm<sup>2</sup>  
**Pevnost v tlaku:** R<sub>c</sub>= **6,66 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelných hydraulickými pojivy**

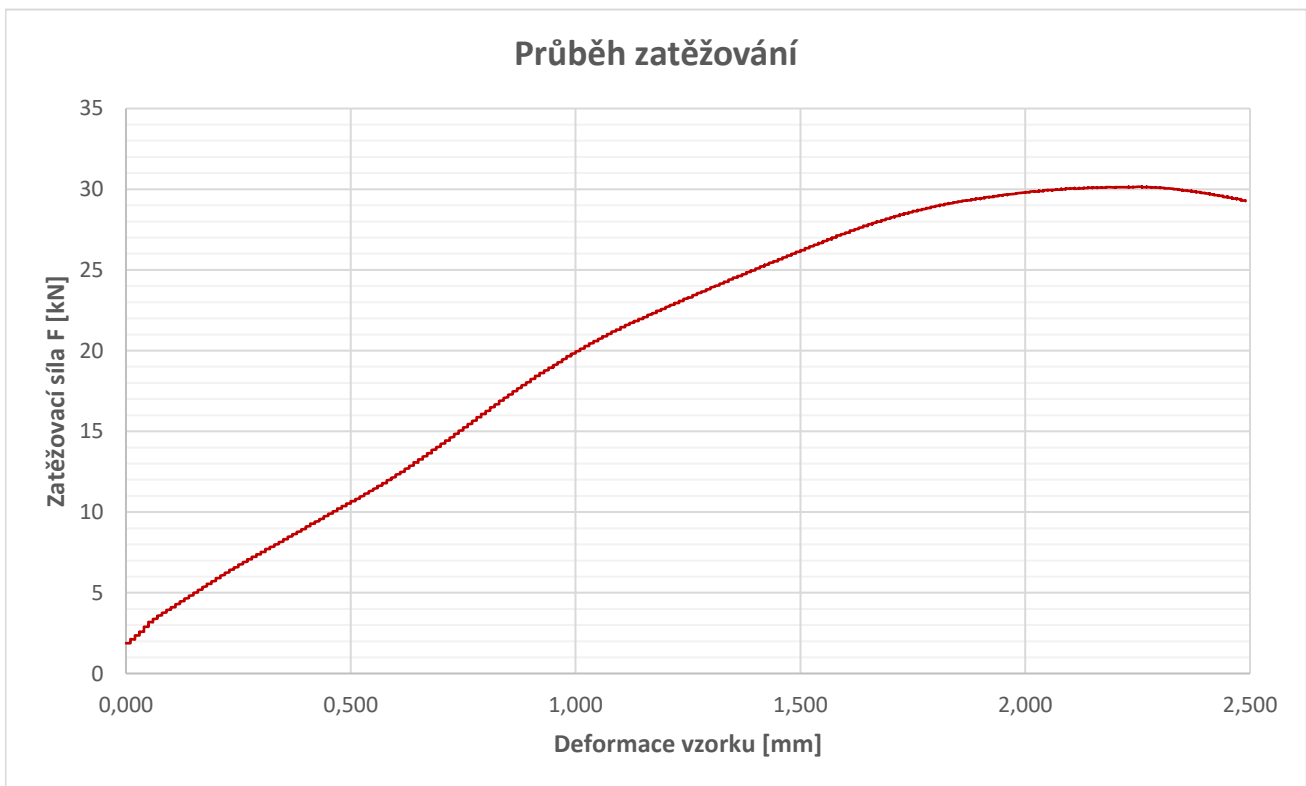
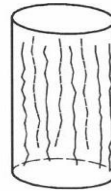
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **E05**

datum zkoušky: **17.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 30,15 kN  
Deformace vzorku při dosažené maximální síle: def= 2,23 mm  
Plocha průřezu tělesa: A<sub>c</sub>= 7853,98 mm<sup>2</sup>  
**Pevnost v tlaku:** R<sub>c</sub>= **3,84 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelných hydraulickými pojivy**

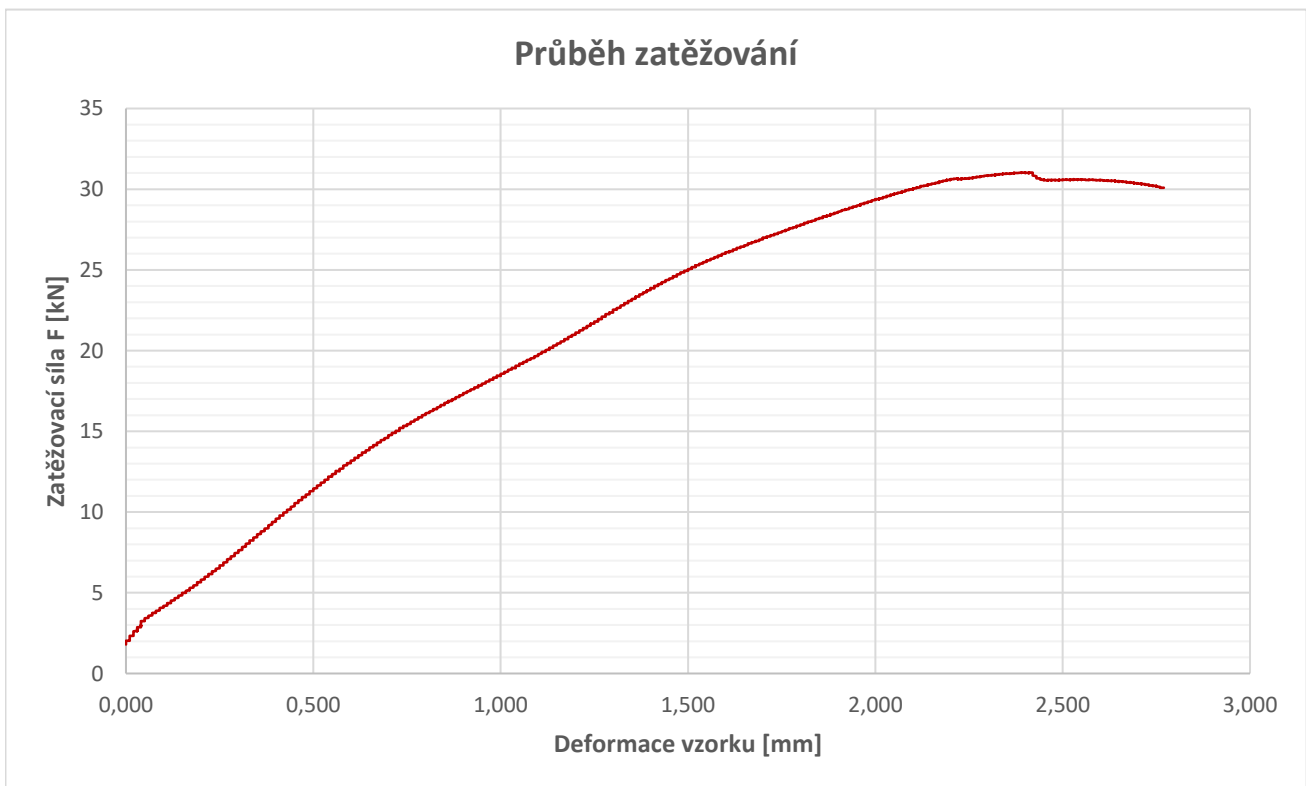
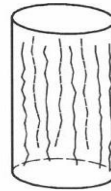
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **E06**

datum zkoušky: **17.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	31,03 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,39 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c$ =	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	$R_c$ =	<b>3,95 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

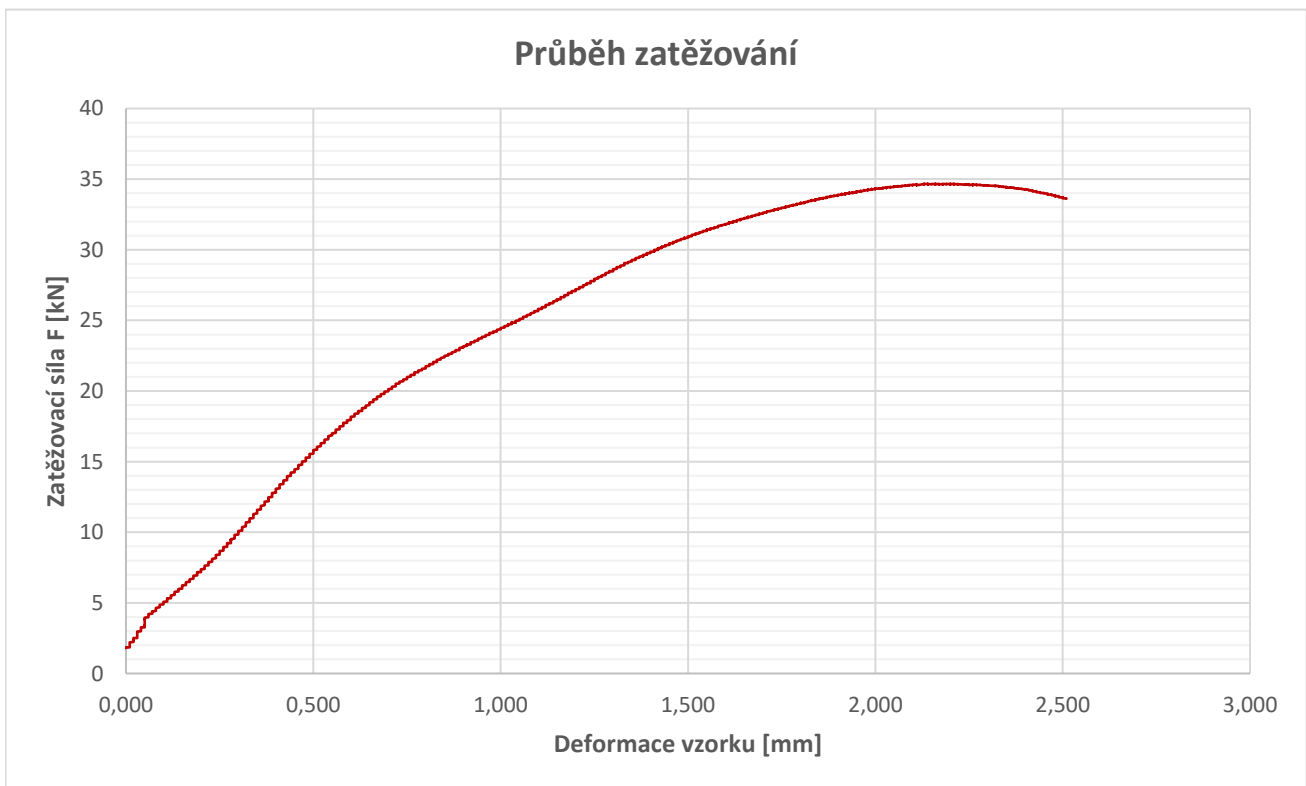
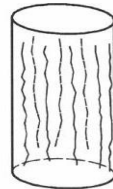
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **E07**

datum zkoušky: **17.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla:	F=	34,65 kN
Deformace vzorku při dosažené maximální síle:	def=	2,13 mm
Plocha průřezu tělesa:	$A_c=$	7853,98 mm <sup>2</sup>
<b>Pevnost v tlaku:</b>	<b><math>R_c=</math></b>	<b>4,41 Mpa</b>
Typ porušení:		Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:



**Protokol o stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelěných hydraulickými pojivy**

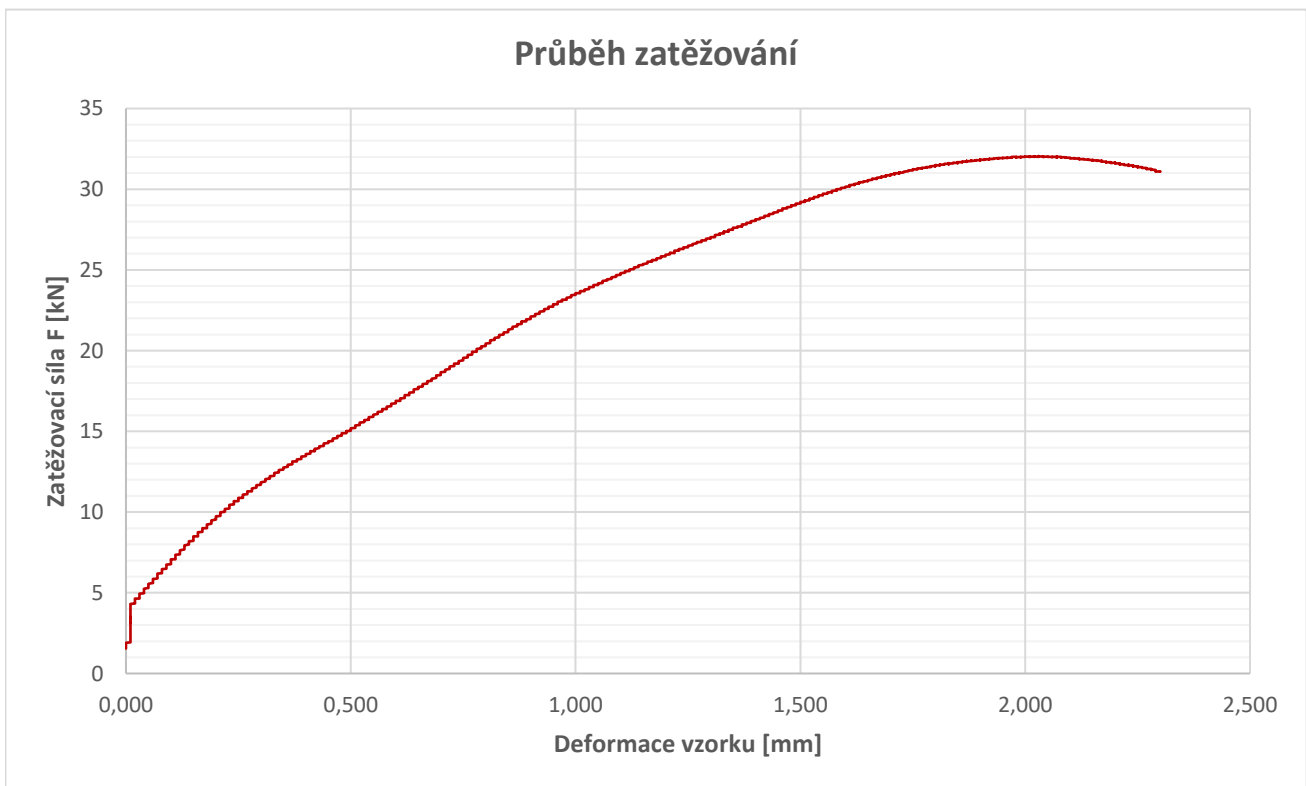
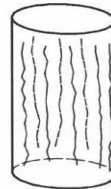
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-41 (736185)

Označení vzorku: **E08**

datum zkoušky: **17.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 32,05 kN  
Deformace vzorku při dosažené maximální síle: def= 2,03 mm  
Plocha průřezu tělesa: A<sub>c</sub>= 7853,98 mm<sup>2</sup>  
**Pevnost v tlaku:** R<sub>c</sub>= **4,08 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

## Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy

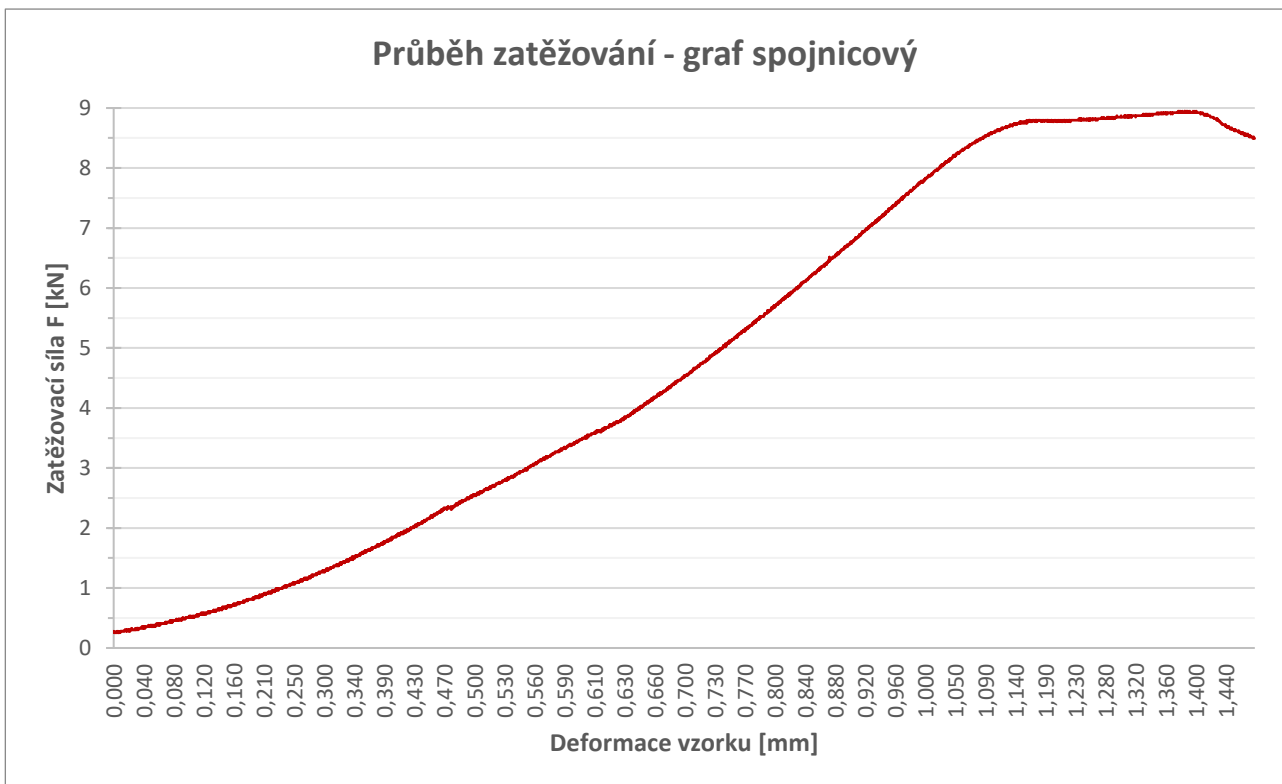
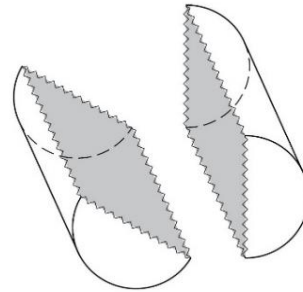
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **E09**

datum zkoušky: **17.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 8,95 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,37 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,47 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:



## Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelovaných hydraulickými pojivy

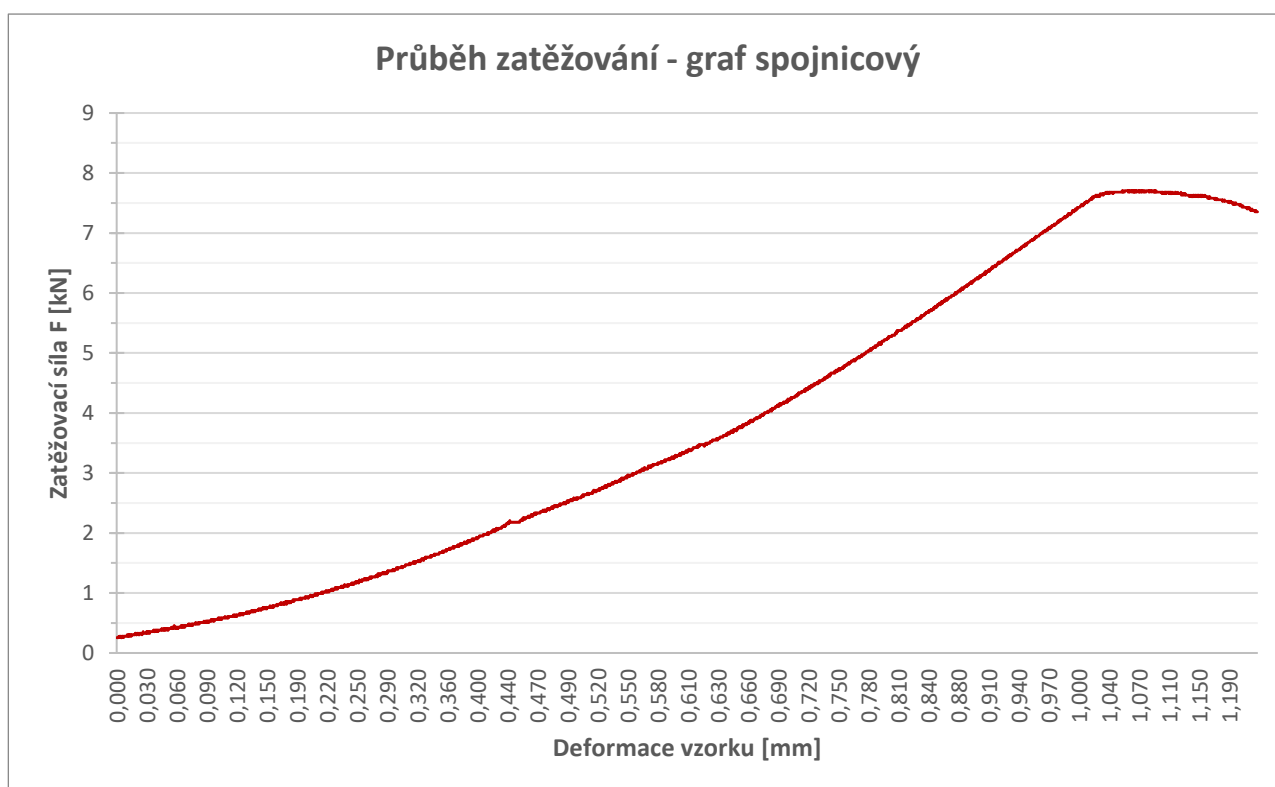
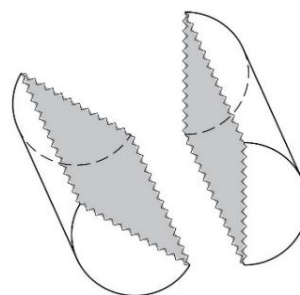
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **E10**

datum zkoušky: **17.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 7,71 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,05 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,41 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:



**Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy**

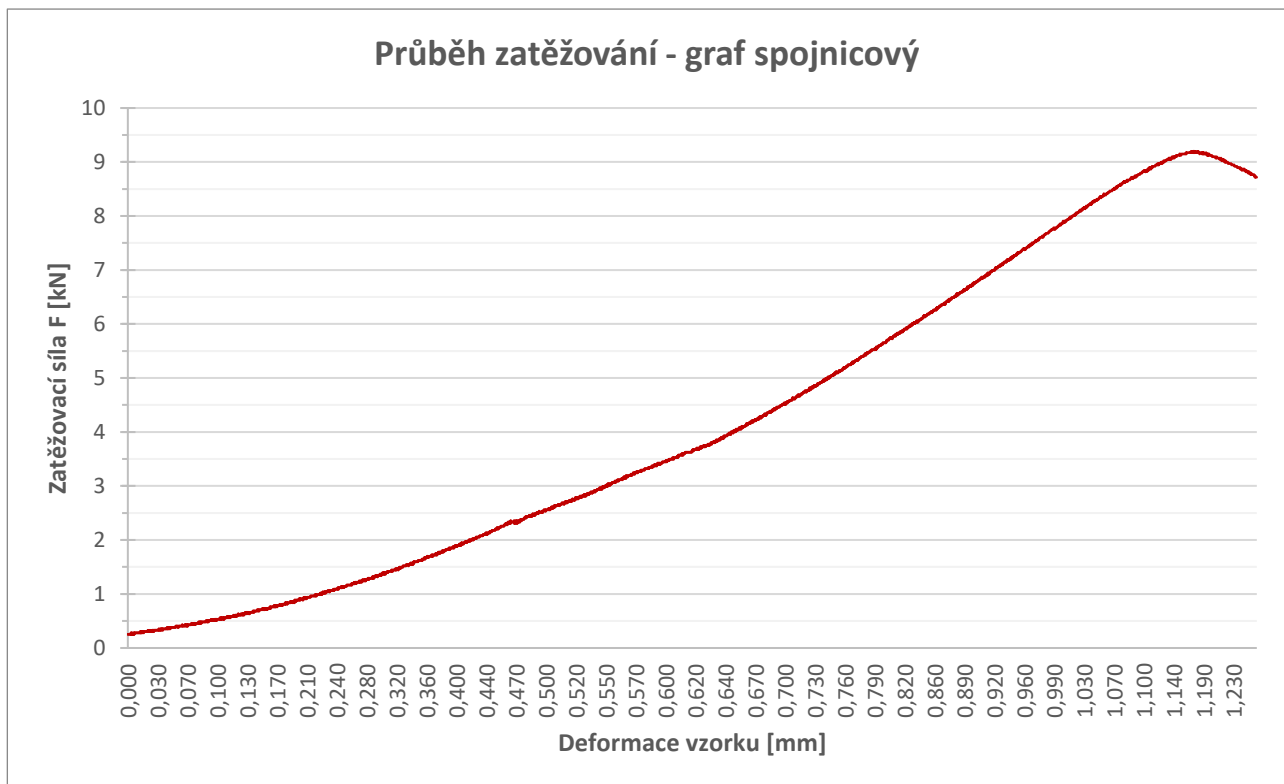
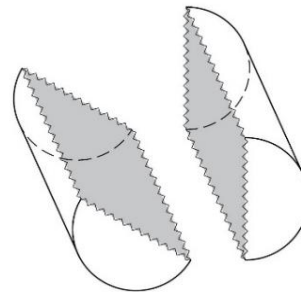
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **E11**

datum zkoušky: **17.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 9,20 kN  
Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,17 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,49 Mpa**  
Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

## Protokol o stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelěných hydraulickými pojivy

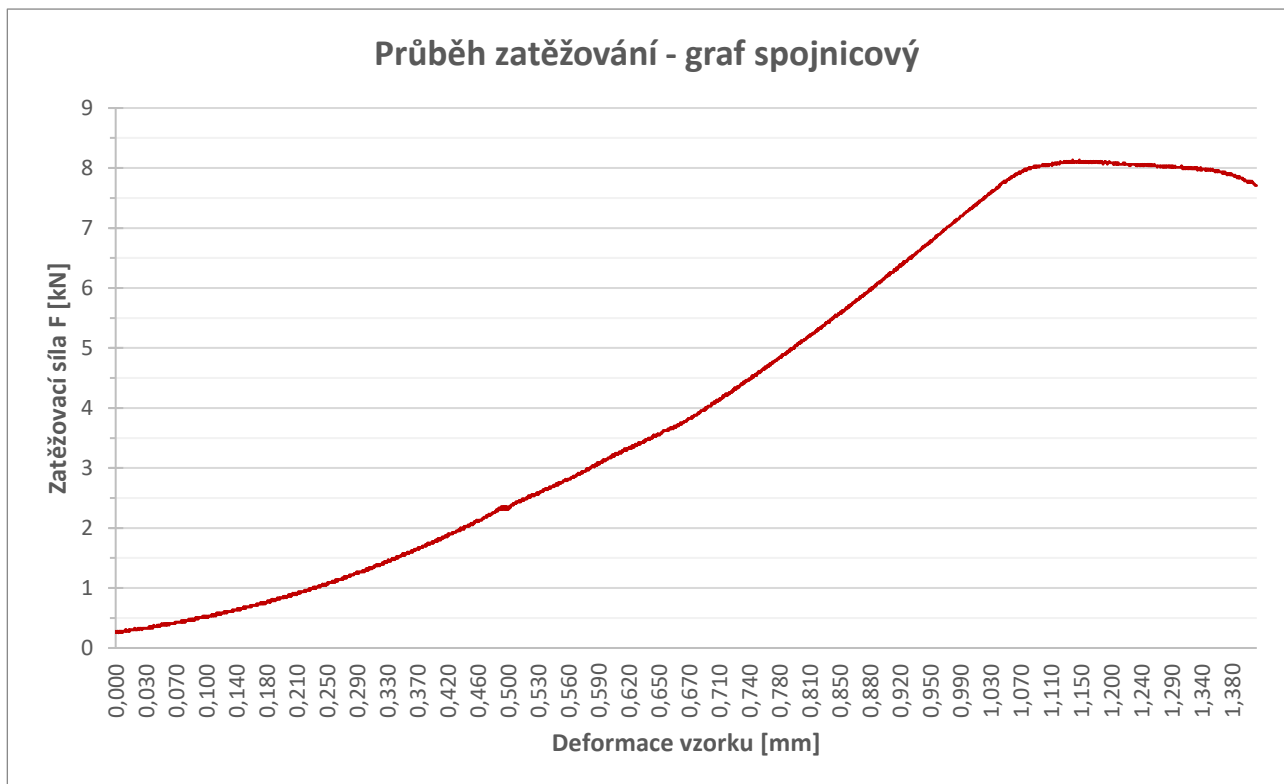
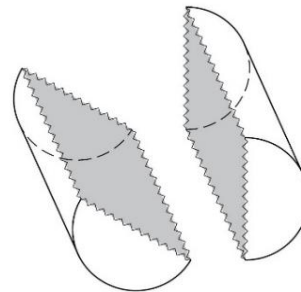
Zkouška provedena dle normy: ČSN EN 13286-42 (736185)

Označení vzorku: **E12**

datum zkoušky: **17.08.2018**

Tvar zkušebního tělesa: Válcový  
 Metoda výroby tělesa: Hutnění Proctorovým pěchem  
 Rozměry tělesa: d=100mm, h=120mm

Maximální dosažená síla: F= 8,14 kN  
 Deformace vzorku při dosažení maximální síle: def= 1,14 mm  
**Pevnost v příčném tahu:**  $R_{ft}$ = **0,43 Mpa**  
 Typ porušení: Uspokojivý



Zkoušku provedl: Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:





FAKULTA

STAVEBNÍ ústav

pozemních komunikací

---

# PŘÍLOHA D

## PROTOKOL O STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI $E_r$ SMĚS B

## Protokol o stanovení modulu pružnosti $E_R$ - směs B

Zkoušku provedl a vyhodnotil:

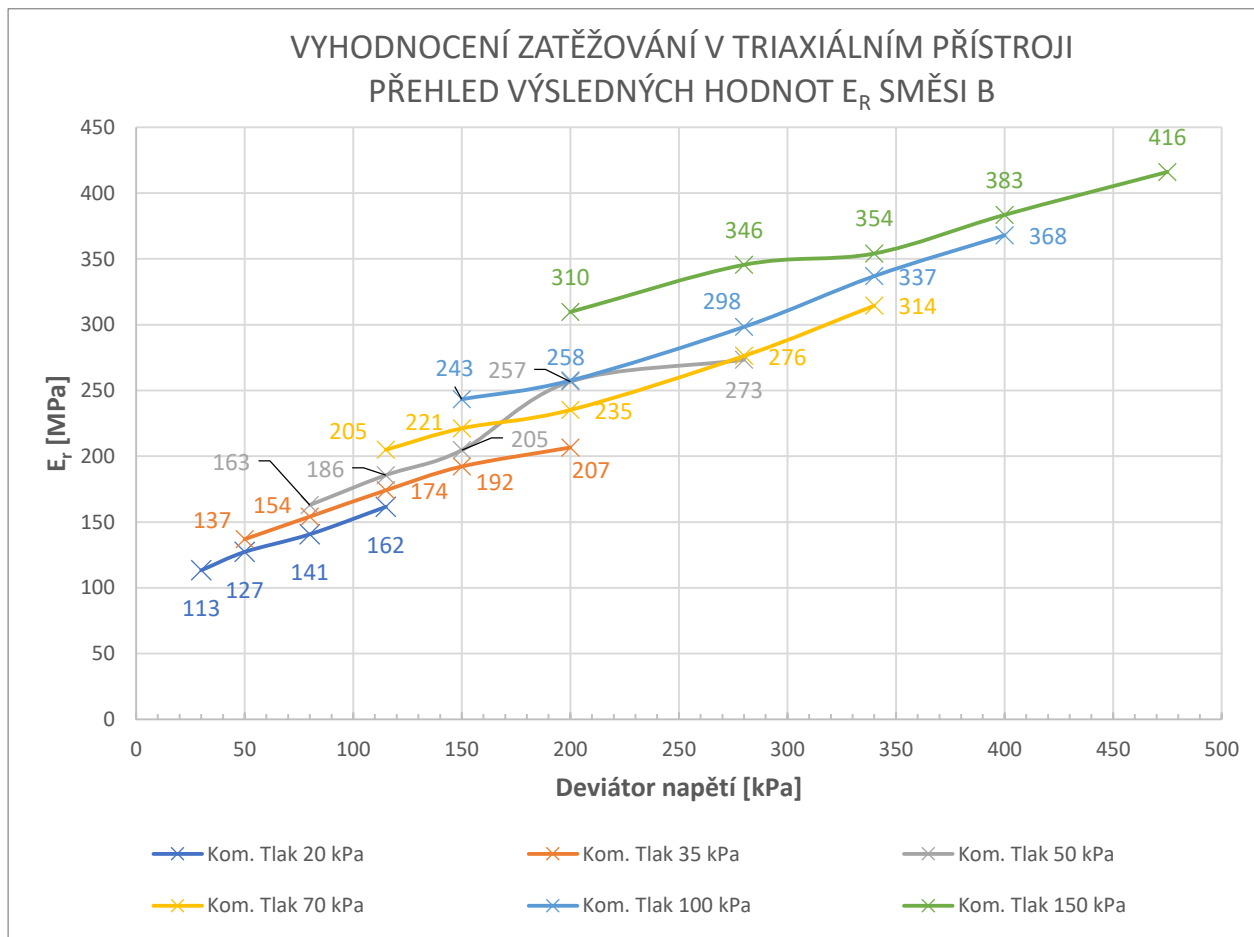
Bc. Adam CHLOUPEK

Podpis:

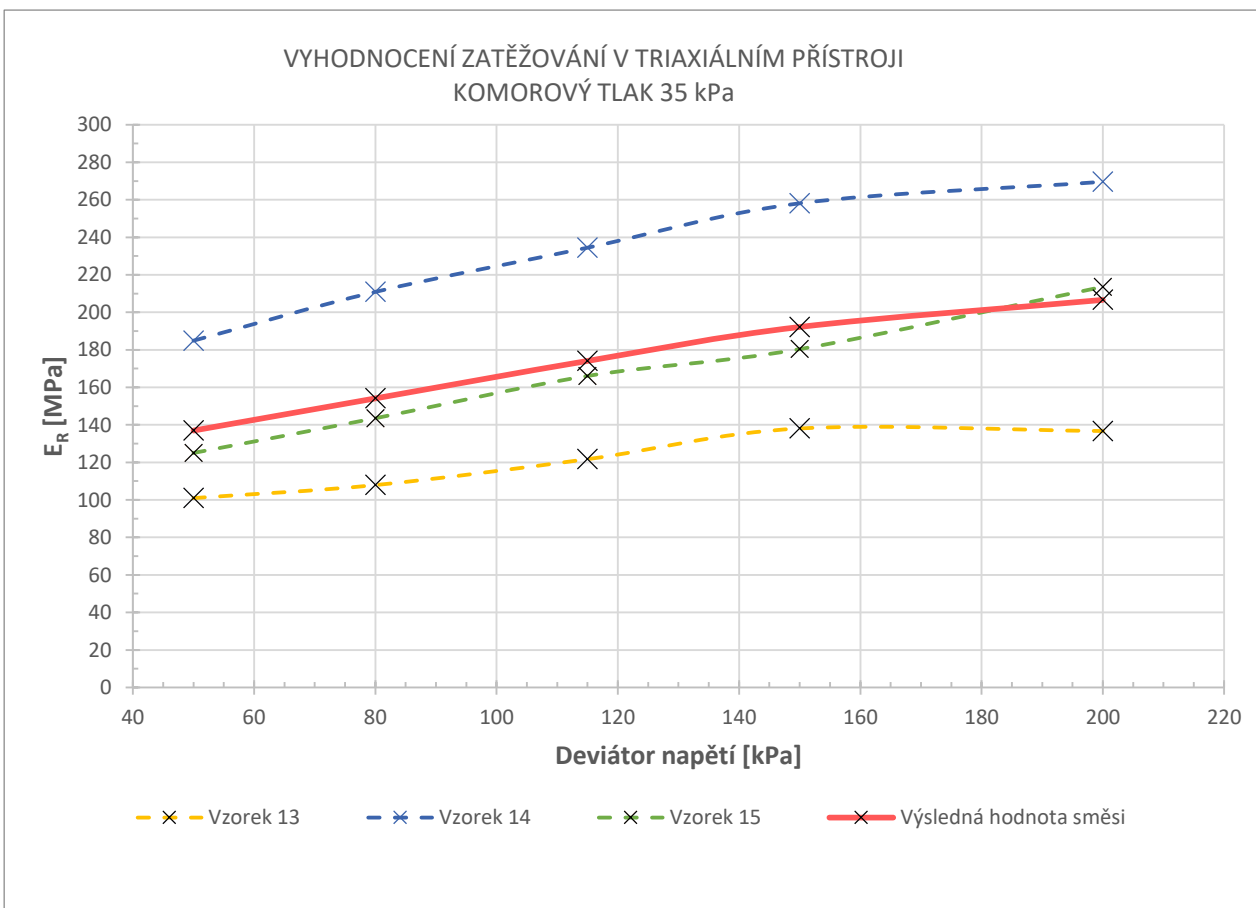
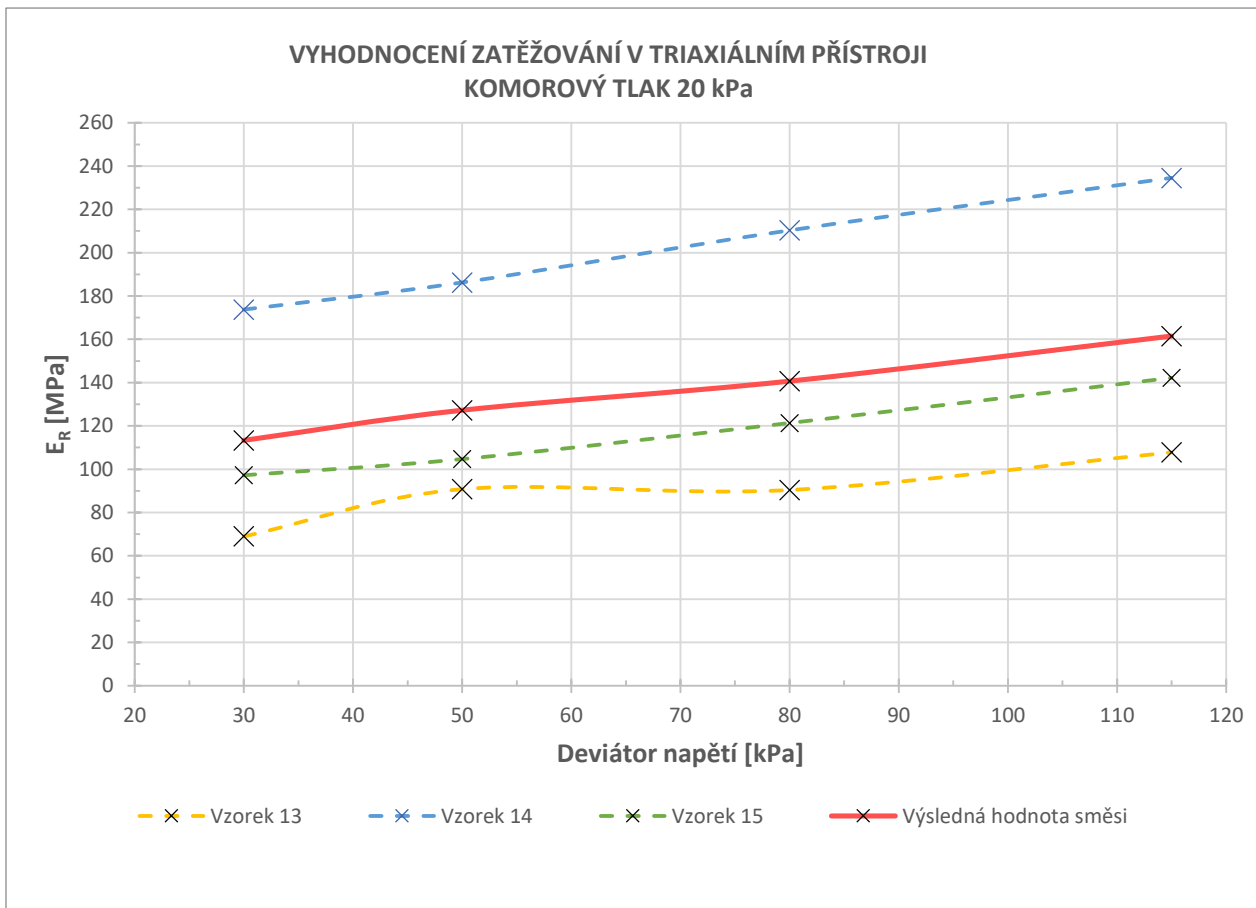


### Obsah protokolu:

1. Přehled výsledných hodnot  $E_r$
2. Přehled detailních grafů  $E_r$
3. Detailní přehled hodnot  $E_r$

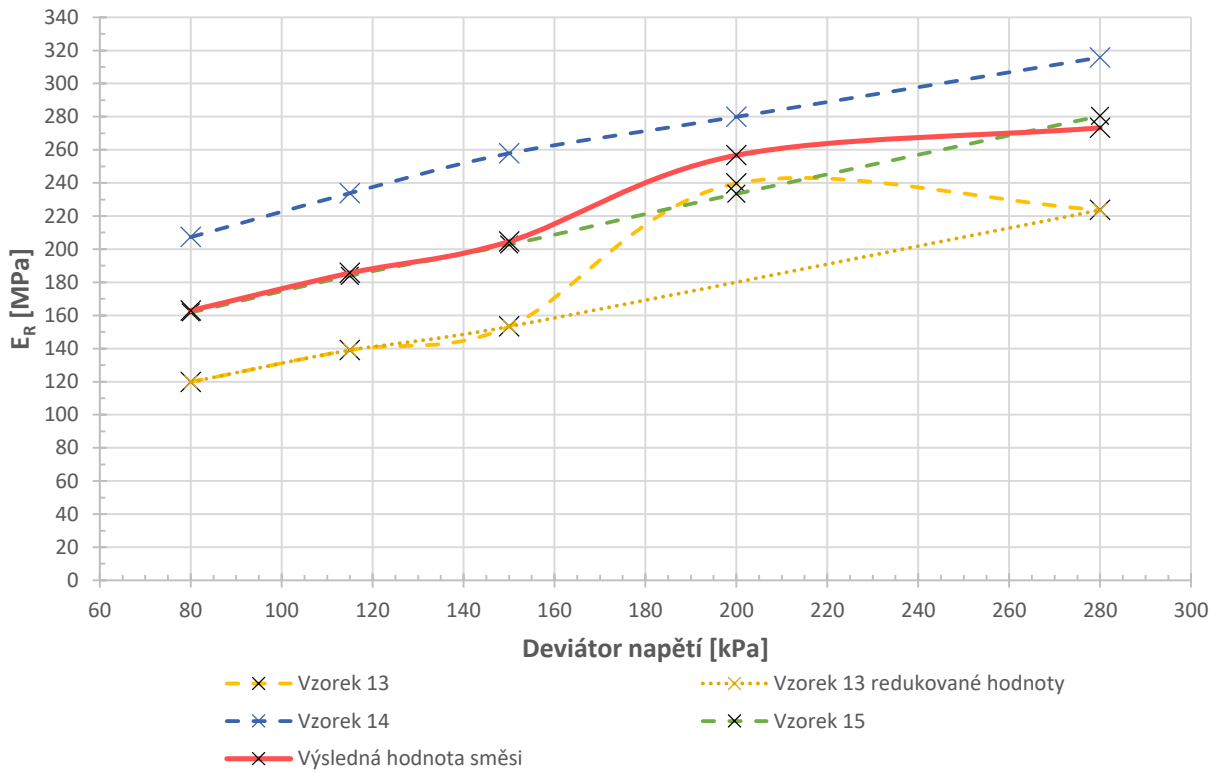


**Protokol o stanovení modulu pružnosti  $E_R$  - Směs B - Přehled detailních grafů**

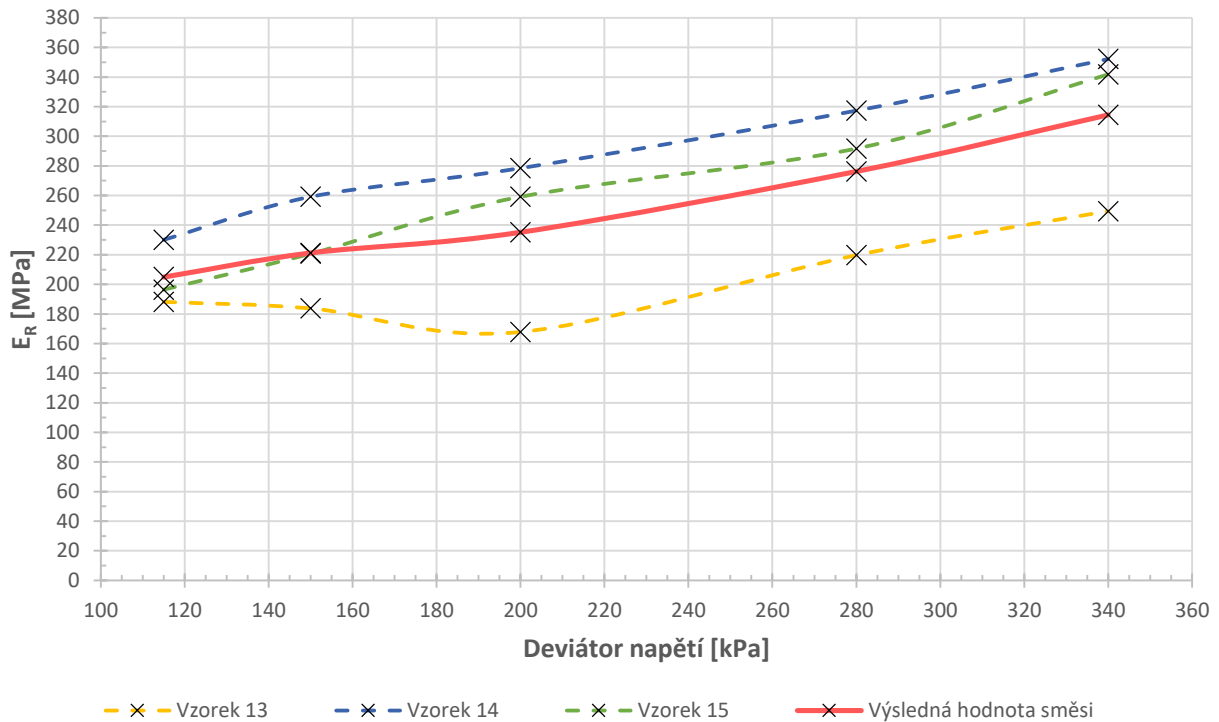




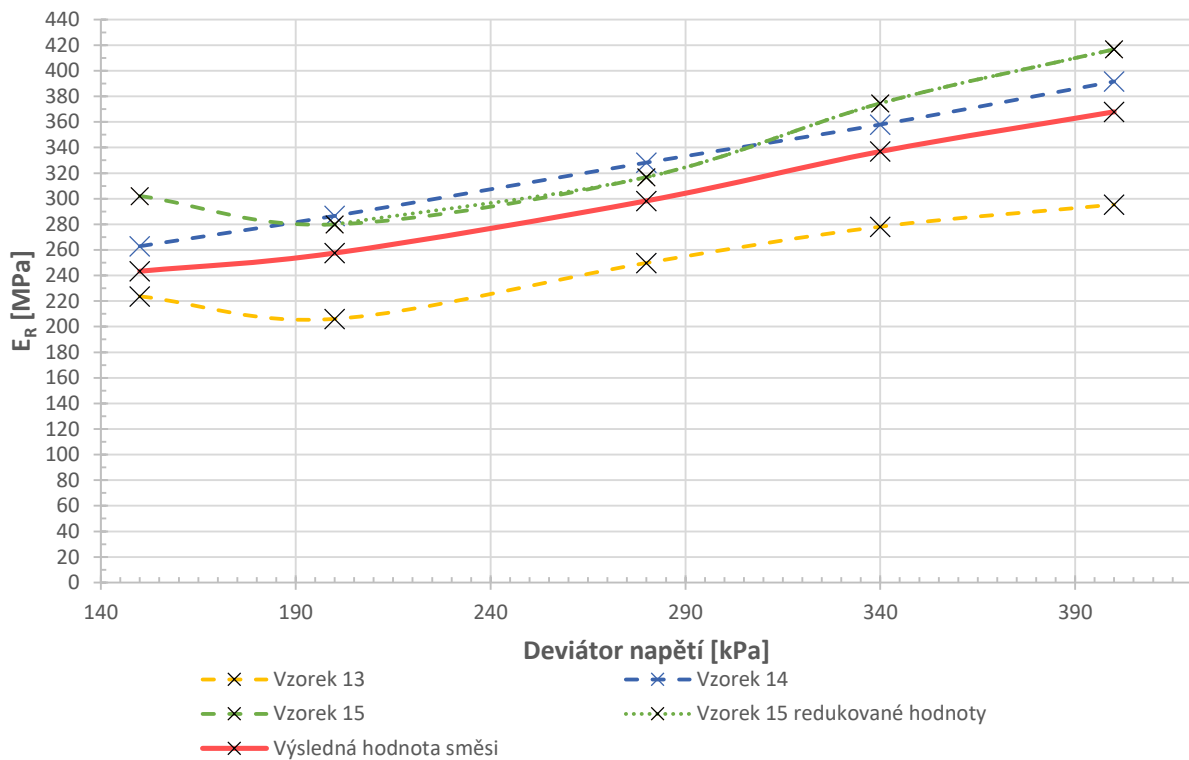
VYHODNOCENÍ ZATĚŽOVÁNÍ V TRIAXIÁLNÍM PŘÍSTROJI  
KOMOROVÝ TLAK 50 kPa



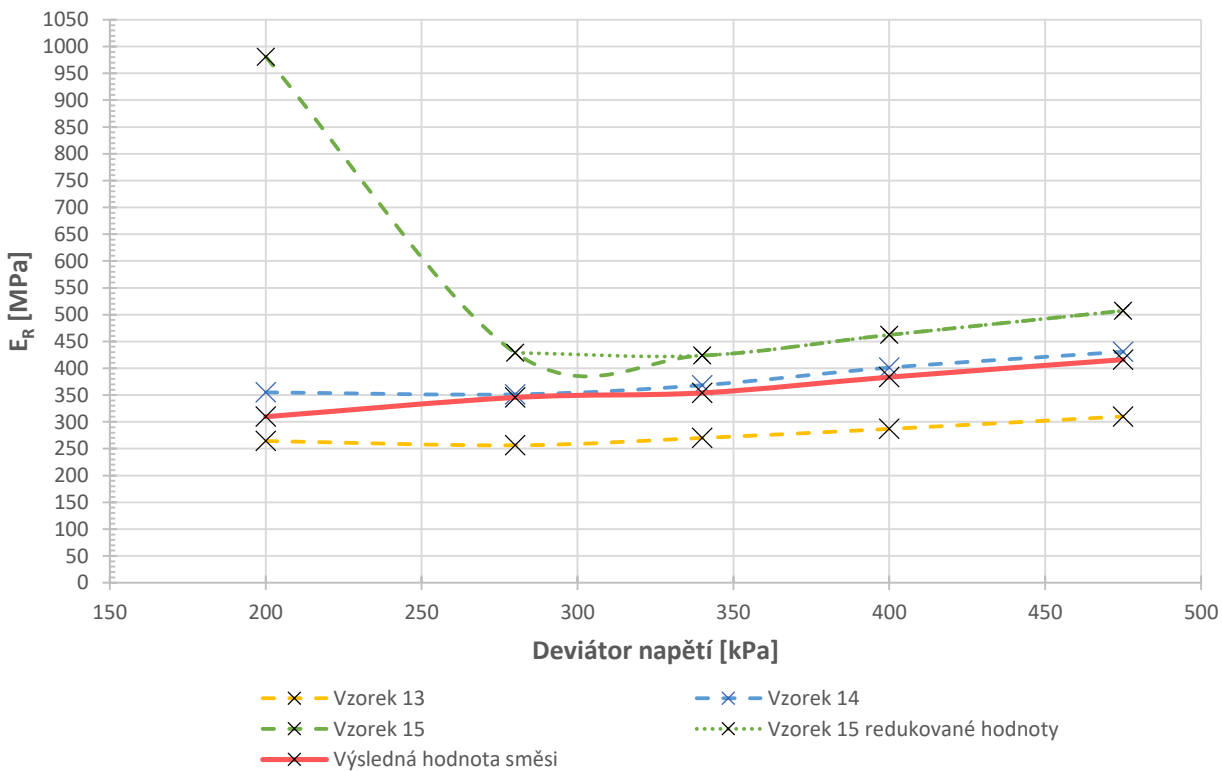
VYHODNOCENÍ ZATĚŽOVÁNÍ V TRIAXIÁLNÍM PŘÍSTROJI  
KOMOROVÝ TLAK 70 kPa



VYHODNOCENÍ ZATĚŽOVÁNÍ V TRIAXIÁLNÍM PŘÍSTROI  
KOMOROVÝ TLAK 100 kPa



VYHODNOCENÍ ZATĚŽOVÁNÍ V TRIAXIÁLNÍM PŘÍSTROI  
KOMOROVÝ TLAK 150 kPa



# Protokol o stanovení modulu pružnosti $E_R$ - Směs B

## Detailní přehled hodnot $E_R$

METODA B - úroveň vysokého napětí			B13 UPRAVENÉ HODNOTY					B14 UPRAVENÉ HODNOTY					B15 UPRAVENÉ HODNOTY					PRŮMĚRNÁ HODNOTA E SMĚSI	PRŮMĚRNÁ HODNOTA SMĚRODATNÉ ODCHYLKY $E_R$ SMĚSI	PRŮMĚRNÁ HODNOTA VAR.KOEF E
komorový tlak	deviátor napětí		$E_R$				% Z $\emptyset$ HODNOTY E	$E_R$				% Z $\emptyset$ HODNOTY E	$E_R$				% Z $\emptyset$ HODNOTY E			
	konstantní [kPa]	min [kPa]	max [kPa]	průměr [MPa]	směr.od [MPa]	var.koef. %		% platných výsledků	průměr [MPa]	směr.od [MPa]	var.koef. %		% platných výsledků	průměr [MPa]	směr.od [MPa]	var.koef. %		% platných výsledků	HODNOTY E SMĚSI	
20	0	30	68,99	8,84	12,81	43,56	60,88%	173,74	3,76	2,16	97,03	153,32%	97,23	10,81	11,11	57,43	85,80%	113,32	7,80	8,70
20	0	50	90,79	9,26	10,20	66,34	71,35%	186,25	3,61	1,94	98,02	146,38%	104,68	12,44	11,88	90,10	82,27%	127,24	8,43	8,00
20	0	80	90,40	10,14	11,21	90,10	64,26%	210,32	4,02	1,91	100,00	149,49%	121,34	10,07	8,30	97,03	86,25%	140,69	8,08	7,14
20	0	115	107,76	9,30	8,63	99,01	66,73%	234,55	7,48	3,19	99,01	145,23%	142,19	11,46	8,06	99,01	88,04%	161,50	9,41	6,63
35	0	50	100,96	11,93	11,82	82,18	73,72%	184,89	3,91	2,11	100,00	135,00%	125,03	11,44	9,15	96,04	91,29%	136,96	9,09	7,70
35	0	80	107,90	10,55	9,78	96,04	70,02%	210,90	4,95	2,35	100,00	136,85%	143,54	10,47	7,30	100,00	93,14%	154,11	8,66	6,47
35	0	115	121,72	8,46	6,95	98,02	69,92%	234,47	6,44	2,75	97,03	134,68%	166,08	10,89	6,56	100,00	95,40%	174,09	8,60	5,42
35	0	150	138,07	9,44	6,84	100,00	71,84%	258,13	8,20	3,18	100,00	134,31%	180,38	11,24	6,23	98,02	93,85%	192,19	9,63	5,42
35	0	200	136,72	9,05	6,62	97,03	66,17%	269,59	12,98	4,82	97,03	130,47%	213,59	13,49	6,32	97,03	103,37%	206,63	11,84	5,92
50	0	80	119,78	11,04	9,22	95,05	73,52%	207,26	4,66	2,25	100,00	127,22%	161,71	10,00	6,18	100,00	99,26%	162,92	8,57	5,88
50	0	115	139,05	11,02	7,93	97,03	74,92%	233,82	5,78	2,47	100,00	125,99%	183,91	9,94	5,40	96,04	99,09%	185,59	8,91	5,27
50	0	150	153,27	10,38	6,78	58,42	74,91%	257,85	6,99	2,71	100,00	126,02%	202,71	10,61	5,23	100,00	99,07%	204,61	9,33	4,91
50	0	200	239,69	13,26	5,53	31,68	93,38%	279,91	11,76	4,20	99,01	109,06%	233,42	12,46	5,34	97,03	90,94%	256,67	12,11	4,77
50	0	280	223,63	9,96	4,45	54,46	81,84%	315,78	10,08	3,19	100,00	115,56%	280,39	25,55	9,11	94,06	102,61%	273,27	15,19	5,59
70	0	115	188,17	16,49	8,77	73,27	91,83%	230,09	9,62	4,18	98,02	112,29%	196,44	16,66	8,48	100,00	95,87%	204,90	14,26	7,14
70	0	150	183,74	10,34	5,63	88,12	83,07%	259,15	10,59	4,09	99,01	117,16%	220,69	14,22	6,44	100,00	99,77%	221,19	11,72	5,39
70	0	200	167,82	10,21	6,08	93,07	71,37%	278,47	12,87	4,62	98,02	118,42%	259,16	13,30	5,13	98,02	110,21%	235,15	12,13	5,28
70	0	280	219,68	11,67	5,31	96,04	79,52%	317,32	9,65	3,04	100,00	114,87%	291,72	25,72	8,82	94,06	105,61%	276,24	15,68	5,72
70	0	340	249,43	13,40	5,37	99,01	79,32%	352,15	5,97	1,69	93,07	111,99%	341,75	13,83	4,05	90,10	108,68%	314,45	11,07	3,70
100	0	150	223,73	21,71	9,70	81,19	91,95%	262,88	9,95	3,79	86,14	108,05%	302,16	28,41	9,40	76,24	124,19%	243,30	15,83	6,74
100	0	200	206,08	10,91	5,29	96,04	80,03%	286,57	13,11	4,58	100,00	111,28%	279,91	19,09	6,82	86,14	108,69%	257,52	14,37	5,56
100	0	280	249,83	9,26	3,71	97,03	83,75%	328,24	10,11	3,08	94,06	110,03%	316,89	18,63	5,88	94,06	106,22%	298,32	12,67	4,22
100	0	340	278,14	13,54	4,87	100,00	82,56%	357,98	7,76	2,17	94,06	106,26%	374,57	18,80	5,02	95,05	111,18%	336,89	13,37	4,02
100	0	400	295,41	20,99	7,10	100,00	80,29%	391,61	9,85	2,52	96,04	106,44%	416,75	17,84	4,28	91,09	113,27%	367,92	16,23	4,63
150	0	200	264,26	25,90	9,80	71,29	85,34%	355,05	25,36	7,14	65,35	114,66%	980,82	110,30	11,25	23,76	316,75%	309,65	25,63	8,47
150	0	280	256,32	10,35	4,04	99,01	74,19%	351,35	11,84	3,37	95,05	101,69%	428,84	42,42	9,89	53,47	124,12%	345,50	21,54	5,77
150	0	340	270,11	13,55	5,02	99,01	76,28%	368,42	8,56	2,32	98,02	104,05%	423,73	15,34	3,62	98,02	119,67%	354,09	12,48	3,65
150	0	400	286,88	14,50	5,05	99,01	74,82%	401,24	8,53	2,13	94,06	104,64%	462,17	22,23	4,81	96,04	120,54%	383,43	15,09	4,00
150	0	475	310,04	18,09	5,84	100,00	74,52%	430,83	9,80	2,27	96,04	103,55%	507,28	25,39	5,00	94,06	121,93%	416,05	17,76	4,37

Protokol o stanovení modulu pružnosti  $E_R$   
Detailní přehled hodnot  $E_R$  cc - Směs B