



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠENÍ MODULU PRUŽNOSTI PODKLADNÍCH VRSTEV VOZOVEK

EXPERIMENTAL TESTING OF ELASTICITY MODULUS FOR BASE LAYERS OF PAVEMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

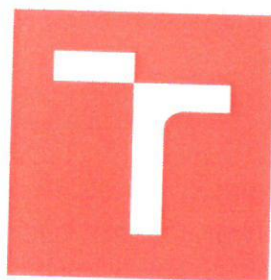
Bc. Vojtěch Kotas

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.

BRNO 2017




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
PRACOVISŤ Ůstav pozemních komunikací

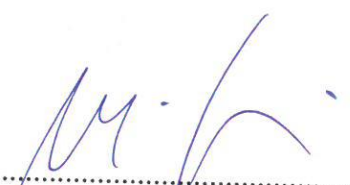
ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT Bc. Vojtěch Kotas
NÁZEV Experimentální zkoušení modulu pružnosti podkladních vrstev vozovek
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ 31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ 13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016


.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

ČSN EN 13286-2 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 2: Zkušební metoda pro laboratorní stanovení objemové hmotnosti suché směsi a optimální vlhkosti - Proctorova zkouška
ČSN EN 13286-7 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 7: Zkouška nestmelených směsí cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji
ČSN EN 13285 Nestmelené směsi-Specifikace
ČSN EN 14227-1 Směsi stmelené hydraulickými pojivy-Specifikace-Část 1: Směsi stmelené cementem
další normové předpisy týkající se řešené práce
veřejně přístupné články a literatura z internetu
výzkumné zprávy pro MD ČR
diplomové práce z let 2000 - 2010
sborníky českých a zahraničních technických konferencí
apod.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

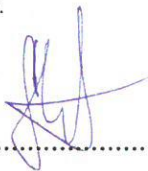
Při návrhu a posuzování zemin a materiálů do konstrukce vozovky pozemní komunikace je důležité maximálně přiblížit laboratorní zkoušení reálnému dopravnímu zatížení vozovek. Toto umožňují funkční zkoušky. Jednou z možností jak ověřit mechanické vlastnosti zhutněných podkladních vrstev je stanovení modulu pružnosti E_r při cyklickém impulzním zatížení simulujícím dopravní zatížení těžkých nákladních vozidel. Funkční zkouškou pro nestmelené materiály do podkladních vrstev vozovek je cyklická triaxiální zkouška pro stanovení trvalých deformací a modulů pružnosti zhutněných nestmelených a experimentálně i stmelených směsí.

Je důležité, pro přesnější návrh konstrukce vozovky, zhodnotit využití cyklické triaxiální zkoušky na základě porovnání měřených modulů pružnosti s předpokládanými teoretickými modely dopravního zatížení. Předpokládá se ověřování pro směsi s různým obsahem jemnozrnné složky, různé čáry zrnitosti a obsahu použitého hydraulického pojiva u navržených stmelených směsí.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Práce řeší experimentální zkoušení modulu pružnosti E_r cyklickou triaxiální zkouškou vybraných nestmelených a stmelených směsí používaných do podkladních vrstev vozovek. Důvodem zkoušení je porovnání výsledků s TP 170, který se zabývá navrhováním vozovek pozemních komunikací a obsahuje běžně užívané moduly pružnosti E_r , a ověření, zda tyto hodnoty odpovídají skutečnosti. Pro klasifikaci vybraných materiálů jsou pak v práci použity další zkoušky jako stanovení zrnitosti, zhutnitelnosti, kalifornského poměru únosnosti CBR pro nestmelené směsi a pevnosti v tlaku pro směsi stmelené cementem.

Klíčová slova

Modul pružnosti E_r , cyklická triaxiální zkouška, podkladní vrstvy vozovky, nestmelená směs, směs stmelená cementem, zhutnitelnost, kalifornský poměr únosnosti CBR, pevnost v tlaku

Abstract

The thesis is focused on experimental testing of resilient modulus M_r with triaxial test of chosen unbounded and bounded mixtures used in the sub-base layer of pavement. The reason of testing is to compare results with TP 170 – pavement construction guide containing commonly used values of resilient modulus M_r . Thesis should check if those values are correct and real. For classification of chosen materials there are used another tests like grain size distribution, compaction, California bearing ratio CBR for unbounded mixtures and compressive strength for cement-bounded mixtures.

Keywords

Resilient modulus E_r , triaxial test, subbase pavement layers, unbounded mixture, cement-bounded mixture, compaction, California bearing ratio CBR, compressive strength

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

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.

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 13. 1. 2017

Bc. Vojtěch Kotas
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. 1. 2017

Bc. Vojtěch Kotas
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Dušanu Stehlíkovi, Ph.D., za odborné vedení, dobré rady a čas věnovaný mé práci. Dále pak panu Pavlu Strakovi za ochotu a pomoc při řešení technických problémů v laboratoři.

Neméně vřele bych rád poděkoval celé své rodině za vytrvalou podporu při studiu.

Obsah

1. Úvod	11
2. Teoretická část	13
2.1. Vozovka.....	13
2.1.1. Návrh konstrukce vozovky	13
2.2. Modul pružnosti	14
2.3. Faktory ovlivňující deformace	14
2.3.1. Zrnitost	14
2.3.2. Maximální velikost zrna.....	15
2.3.3. Obsah jemných částic.....	15
2.3.4. Míra zhutnění	15
2.3.5. Tvar a drsnost povrchu zrn, pevnost zrn	16
2.4. Materiály podkladních vrstev	16
2.4.1. Nestmelené vrstvy.....	16
2.4.2. Stmelené vrstvy	17
2.4.3. Prolévané vrstvy	17
3. Vybrané metody laboratorního zkoušení	19
3.1. Zrnitost.....	19
3.2. Zhutnitelnost – Proctor modifikovaný.....	20
3.3. Kalifornský poměr únosnosti CBR	22
3.4. Pevnost v tlaku.....	24
3.5. Cyklická triaxiální zkouška	25
4. Praktická část.....	27
4.1. Zrnitost.....	27
4.1.1. Zrnitost – štěrk 0/16.....	28
4.1.2. Zrnitost – štěrk 0/22.....	29

4.1.3.	Zrnitost – R-materiál	30
4.1.4.	Zrnitost – stmelené směsi	31
4.2.	Zhutnitelnost	31
4.2.1.	Zhutnitelnost – štěrk 0/16.....	32
4.2.2.	Zhutnitelnost – štěrk 0/22.....	33
4.2.3.	Zhutnitelnost – R-materiál	34
4.2.4.	Zhutnitelnost – stmelené směsi	35
4.2.5.	Zhutnitelnost – shrnutí výsledků.....	36
4.3.	Kalifornský poměr únosnosti CBR	37
4.3.1.	CBR – shrnutí výsledků	37
4.4.	Pevnost v tlaku R_c	39
4.4.1.	Pevnost v tlaku R_c – shrnutí výsledků.....	39
4.5.	Cyklická triaxiální zkouška	43
4.5.1.	Přehled výsledků	46
5.	Závěr	52
6.	Seznam použitých zdrojů	55
7.	Seznam obrázků	57
8.	Seznam grafů.....	58
9.	Seznam tabulek	61
10.	Seznam vztahů.....	63
	Příloha A – Přehled zkoušky CBR.....	64
	Příloha B – Podrobné výsledky cyklické triaxiální zkoušky.....	68

1. Úvod

Při navrhování vozovek pozemních komunikací je modul pružnosti jednotlivých vrstev vozovky zásadním parametrem pro návrh. Proto je nutné hodnoty modulu pružnosti jednotlivých materiálů zkoumat a ověřovat. Z návrhových hodnot modulů pružnosti jednotlivých konstrukčních vrstev vycházejí katalogové listy pro návrh vozovek, ale také sofistikované návrhové metody s pomocí výpočetního softwaru, kde je modul pružnosti E_r základním vstupním parametrem pro výpočet očekávané doby životnosti vozovky v závislosti na dopravním zatížení.

Teoretická část práce se zabývá představením modulu pružnosti E_r jako charakteristické vlastnosti materiálu dobře vystihující všesměrné namáhání jednotlivých vrstev vozovky při dynamickém zatěžování dopravou a jsou zde představeny faktory ovlivňující tuto vlastnost materiálu. Dále jsou zde představeny základní materiály používané v různých druzích podkladních vrstev vozovek.

V další části jsou stručně představeny laboratorní zkoušky používané v praktické části práce. Jedná se především o cyklickou triaxiální zkoušku pro měření modulu pružnosti E_r , ale také další zkoušky pro klasifikaci výchozích materiálů, jako je zkouška zrnitosti a zhutnitelnosti a dále Kalifornský poměr únosnosti CBR pro nestmelené směsi a zkouška pevnosti v tlaku pro směsi stmelené cementem.

Praktická část práce se zabývá laboratorní činností. Výzkum probíhal na vybraných nestmelených a stmelených materiálech používaných v podkladních vrstvách vozovek. Konkrétně pro nestmelené směsi byly zkoušeny šterky frakce 0/16 a frakce 0/22 a také R-materiál. Pro stmelené směsi bylo použito kamenivo frakce 0/16 stmelené cementem s 5 % a 10 % hmotnosti cementu.

Hlavním cílem práce je změření modulu pružnosti E_r použitých materiálů a porovnání těchto hodnot s návrhovými hodnotami modulu pružnosti E_r z TP 170 – Navrhování vozovek pozemních komunikací. Toto je důležité pro optimalizaci dimenzování pozemních komunikací z hlediska jejich životnosti. Smyslem práce je posouzení, zda návrhové moduly pružnosti E v TP 170 odpovídají realitě a je tedy možné na jejich základě pozemní komunikace navrhovat hospodárně tak, aby nedocházelo k předčasnému ukončení jejich životnosti. Dalšími cíli, které jsou podstatné k dosažení cíle hlavního, je stanovení zrnitosti jednotlivých materiálů a zjištění

obsahu jemných částic, stanovení zhutnitelnosti, ověření únosnosti CBR u nestmelených směsí a klasifikace směsí stmelených cementem podle charakteristické pevnosti v tlaku.

2. Teoretická část

Předmětem teoretické, rešeršní části je obecné představení problematiky podkladních vrstev vozovek a materiálů v nich používaných a zkušebních postupů používaných při zkoušení jejich vlastností s použitím českých i zahraničních informačních zdrojů.

2.1. Vozovka

Vozovkou rozumíme zpevněnou část silniční komunikace určenou pro pojíždění vozidel. Vozovka je vícevrstvá konstrukce na povrchu tělesa silniční komunikace, jejíž únosnost a povrch umožňují bezpečnou a hospodárnou jízdu motorových vozidel návrhovou rychlostí po dobu její životnosti. Vozovka se zpravidla skládá z krytu, podkladu a podloží vozovky. [1]

V roce 1961 a následně 1970 vydala AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) předběžný předpis pro stavby vozovek založený na datech získaných ze silničních zkoušek prováděných mezi roky 1958 a 1960. Ten byl donedávna tradičně využíván pro návrh a modelování vozovek. Předpis je empirický a v zásadě odvozen z testů jednotlivých zkušebních úseků zastoupených omezeným počtem přejezdů a konfigurací zatěžovacích vozidel, lokálními materiály a environmentálními podmínkami. V této metodě jsou pevnostní charakteristiky materiálů založeny na experimentech prováděných při statickém zatížení, což pro nestmelené zrnité materiály odpovídá Kalifornskému poměru únosnosti CBR. Ve skutečnosti zatížení na vozovky není ani statické, ani rovnoměrné, ale proměnlivé a dynamické. S ohledem na rychle se rozvíjející technologie a rostoucí diverzifikaci produktů, typů materiálů a složení dopravy je hodnota CBR nyní zcela nedostatečná pro hodnocení chování vozovky. Z toho důvodu v roce 1986 a 1993 předpisy AASHTO propojily provádění vozovek s hodnotou zvanou modul pružnosti E_r pro všechny konstrukční vrstvy vozovky. Modul pružnosti E_r může být zjednodušeně definován jako modul pružnosti E materiálu měřený při opakovaném (cyklickém) zatěžování. Modul pružnosti E_r lépe vystihuje chování a třídímenzionální namáhání vozovky při zatížení dopravou. [2]

2.1.1. Návrh konstrukce vozovky

Navrhování tuhých a netuhých vozovek je popsáno v TP 170 - Navrhování vozovek pozemních komunikací. Metoda návrhu v tomto předpisu vyžaduje znalost dopravního zatížení, prostředí, charakteristik podloží a používaných vrstev vozovky. Podle výpočtu účinků zatížení ve vrstvách vozovky se stanoví přípustné dopravní zatížení. Účinky zatížení jsou popsány poměrnými

deformacemi. Předpis připouští dva druhy návrhu. Dle katalogových listů pro běžné konstrukční vrstvy, a dle návrhové metody vozovek s podrobným výpočtem dopravního zatížení a charakteristik konstrukce vozovky. Návrhová metoda je založena na teorii vrstevnatého poloprostoru. Předpokládá se, že materiály jsou lineárně elastické, homogenní, izotropní. [1]

2.2. Modul pružnosti

Pro nestmelené materiály ve vozovce odpovídá modul pružnosti E_r závislosti mezi napětím a přetvořením. Je definován pomocí vztahu 1 při tradiční cyklické triaxiální zkoušce, kde σ_1 je proměnlivé svislé napětí a σ_3 je konstantní komorový tlak. Modul pružnosti E_r je silně závislý na úrovni napětí. [3]

$$E_r = \frac{\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)}{\Delta\varepsilon_1} \quad (1)$$

Výpočet modulu pružnosti E_r

kde E_r je modul pružnosti (kPa)
 σ_1 svislé napětí v cyklické triaxiální zkoušce (kPa)
 σ_3 komorový tlak (kPa)
 ε_1 svislé přetvoření v cyklické triaxiální zkoušce. [3]

2.3. Faktory ovlivňující deformace

Deformace zrnitých materiálů jsou způsobeny spolupůsobením mnoha faktorů. Mezi tyto faktory patří především pórovitost, efektivní smykové a střední napětí, zrnitost, úroveň deformace, maximální velikost zrna, historie namáhání, mineralogické složení materiálu, sekundární časové vlivy, struktura vzorku zeminy a teplota. [3]

2.3.1. Zrnitost

Jedním z parametrů ovlivňujících trvalé deformace je zrnitost materiálu. Křivka zvaná Fullerova parabola znázorňuje optimální křivku zrnitosti, při které se teoreticky všechna zrna ideálně podílejí na rozložení zatížení. Tudíž je náchylnost k pružným i trvalým deformacím u materiálů s křivkou zrnitosti kopírující Fullerovu parabolu nižší než u materiálů s jiným tvarem křivky zrnitosti. [3]

2.3.2. Maximální velikost zrna

Maximální velikost zrna zjevně ovlivňuje jak pružné, tak trvalé deformace – čím větší maximální velikost zrna, tím menší deformace. Je však obtížné definovat deformační vlastnosti v malém laboratorním měřítku, proto by pro hrubozrnné materiály měly být preferovány laboratorní zkoušky ve velkém počtu a měřítku. [3]

Provádět laboratorní zkoušky ve větším, statisticky významném souboru výsledných dat, a při větších rozměrech zkušebních těles než při standardním zkoušení, je velmi obtížné. Standardní rozměr zkušebního tělesa pro cyklickou triaxiální zkoušku je válec o průměru 100 mm a výšce 200 mm. Průměr vzorku pak musí být 5x větší, než je rozměr největšího zrna ve vzorku. V nestmelených vrstvách se často používají materiály se zrny s průměrem nad 20 mm. Pro zkoušení takových materiálů musí být použit větší, atypický triaxiální přístroj, který nebývá standardním vybavením laboratoře. Také hmotnost vzorku se stává problémem. Při zachování poměru výšky a průměru vzorku roste hmotnost se třetí mocninou průměru vzorku.

2.3.3. Obsah jemných částic

Modul pružnosti je nepřímo úměrný také obsahu jemných částic. Bylo prokázáno, že s vyšší vlhkostí klesá tuhost materiálů s vysokým obsahem jemných částic. Pokud je obsah jemných částic malý, mohou být hrubá zrna vzájemně v kontaktu a roznášet zatížení, zatímco jemné částice vyplňují mezery mezi nimi. Se zvyšujícím se obsahem jemných částic se vytrácí kontakt mezi hrubými zrny. Důsledkem je pokles hodnoty modulu pružnosti. [3]

2.3.4. Míra zhutnění

Kromě obsahu vody a zrnitosti je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících trvalé deformace míra zhutnění materiálu. Některé studie ukazují, že míra zhutnění má ještě větší vliv na tvorbu trvalých deformací než na pružné deformace. Suchá objemová hmotnost, stupeň saturace a úroveň napětí se zdají být klíčovými parametry pro určení chování z hlediska trvalých deformací, avšak mineralogické složení, obsah jemných částic a zrnitost jsou také důležité. Pozorování zkušebních úseků ukázalo, že u silnic s málo zhutněnými podkladními vrstvami se vyjíždějí dvakrát hlubší koleje než u silnic s řádně zhutněnými vrstvami. Dále bylo zjištěno, že míra zhutnění je důležitější u drceného hrubého kameniva než u těženého. [3]

2.3.5. Tvar a drsnost povrchu zrn, pevnost zrn

Dalším faktorem s menším vlivem na modul pružnosti E_r je tvar a drsnost povrchu zrn. Tyto především ovlivňují zhutnitelnost a tím vznik trvalých deformací. Pevnost zrn záleží na jejich mineralogickém složení. Pevnost drceného kameniva tedy závisí na výchozí surovině (kvalita kamene v lomu) a nejspíš i na procesu drcení. Také pevnost materiálu více ovlivňuje trvalé než pružné deformace. [3]

2.4. Materiály podkladních vrstev

Materiálů používaných do podkladních vrstev vozovek je velké množství. Dělí se na tři základní skupiny, stmelené, nestmelené a prolévané vrstvy.

2.4.1. Nestmelené vrstvy

Nestmelené vrstvy se vyznačují zrnitou skladbou materiálu, jehož vlastnosti ve vozovce záleží jen na vnitřním tření zrn kameniva. Není zajištěno žádné stmelení, žádné kohezivní vlastnosti. Pouze pro mechanicky zpevněnou zeminu (MZ) je materiál získán těžebním ze zemníku, pro ostatní nestmelené vrstvy se používá kamenivo získané od výrobce kameniva. [14]

Rozlišují se 4 základní vrstvy:

Štěrkopísek ŠP je vrstva vytvořená rozprostřením a zhutněním přírodního těžebního kameniva. Štěrkopísek se zaoblenými zrny má nízké vnitřní tření mezi zrny a tvoří nejméně vhodnou vrstvu z hlediska provádění a únosnosti, vrstva se totiž při poježdění a zatěžování snadno přetváří, mění svůj tvar. [15]

Mechanicky zpevněná zemina MZ je vrstva tvořená rozprostřením a zhutněním zemin stanovených zrnitostí a předepsaných vlastností (fyzikálními vlastnostmi a poměrem únosnosti CBR). [15] Pro MZ se těží vhodné zeminy vyhovující předepsané čáře zrnitosti nebo se vhodné zeminy míchají tak, aby požadovaná čára zrnitosti byla splněna. MZ je v zásadě zrnitosti 0/32, přičemž se připouští propad na síť 0,063 až 12 %. [14]

Štěrkodrt' ŠD je vrstva vytvořená z drceného kameniva rozprostřením a zhutněním. Lomové plochy drceného kameniva zajišťují vysoké vnitřní tření ve vrstvě, je zajištěna únosnost. Zpracováním může dojít k segregaci kameniva s nehomogenitou vrstvy. [15]

Mechanicky zpevněné kamenivo MZK je vrstva vytvořená mícháním a vlhčením kameniva nejméně dvou frakcí přírodního nebo umělého kameniva vyrobená

v míchacím centru. Optimální vlhkost směsi kameniva snižuje segregaci, umožňuje řádné zhutnění a dosažení nejvyšší únosnosti. [15]

2.4.2. Stmelené vrstvy

Pro stmelené vrstvy se používají směsi zemin nebo jiného zrnitého materiálu s použitím hydraulických pojiv. Stmelené směsi získají požadovanou pevnost a odolnost zejména proti vodě a mrazu. Technologie umožňuje využít místní přírodní materiály a druhotné suroviny. Vrstvy se rozlišují podle kvality, která je vyjádřena použitými materiály (zemina, kamenivo a pojivo), pevností v tlaku, případně pevností v příčném tahu a způsobem provádění. [15]

Podle dosahované pevnosti a odolnosti proti mrazu a vodě se směsi zatřídí do pevnostních kategorií. V ČR se používají pouze pojiva cement nebo hydraulická silniční pojiva. Pevnostní kategorie se označují velkým písmenem C a jsou doplněny indexem, který označuje minimální pevnost v tlaku stmelené směsi na válcových nebo krychlových tělesech. Např. označení C_{3/4} znamená, že navržená a pokládaná stmelená směs musí mít minimální pevnost krychelných vzorků nebo válcových vzorků o rozměrech 1 : 1 (průměr : výška) 4 MPa (druhé číslo za lomítkem v indexu). [15]

Jako pojiva se používají nejčastěji cement nebo cement a příměsi, jako je popílek, odprašky, struska a jiné přísady pro omezení smršťování, urychlení nebo zpomalení tvrdnutí směsi apod. Některá směsná speciální hydraulická pojiva mají specifikované použití ke stmelení různých materiálů. Stmelit lze v zásadě všechny druhy vhodných zemin, kameniva, druhotné suroviny nebo jejich směsi, které je možno příslušným mechanizačním zařízením rozmělnit a zpracovat. [15]

2.4.3. Prolévané vrstvy

Prolévané vrstvy jsou tvořené předhutněnou kamennou kostrou prolitou výplňovou směsí nebo pojivem do úplného nebo částečného zaplnění mezer za pomoci následného vibračního hutnění. Jsou to vrstvy se dvěma technologickými procesy na stavbě s dodatečnou úpravou kameniva k vyplnění mezer a stmelení povrchové části vrstvy. [15]

Podle použité výplňové směsi nebo pojiva se rozlišují 4 vrstvy:

Štěrka částečně vyplněná cementovou maltou ŠCM je vrstva vzniklá z kamenné kostry po částečném zaplnění cementovou maltou, která uzavírá povrch a s hloubkou vrstvy její množství postupně klesá. [15]

Penetrační makadam PM je vrstva vzniklá z kamenné kostry po prolití asfaltovým pojivem a následném zaplnění povrchových mezer rozprostřeným a zhutněným drceným kamenivem. [15]

Asfaltocementový beton ACB vzniká prolitím zhutněné mezerovité asfaltové směsi speciální cementovou maltou. [15]

Kamenivo zpevněné popílkovou suspenzí KAPS je vrstva vzniklá podobně jako ŠCM prolitím cementopopílkovou suspenzí na celou tloušťku vrstvy. [15]

Do kostry kameniva pro prolévané vrstvy se používá většinou hrubé drcené kamenivo 32/63.

Do výplňové směsi se použije těžené a/nebo drcené kamenivo 0/2 nebo 0/4. Do výplňové malty ŠCM a KAPS se použije cement třídy 22,5 až 32,5. [15]

3. Vybrané metody laboratorního zkoušení

Předmětem této kapitoly bude především stručný popis zkušebních metod použitých v praktické části práce. Jedná se o stanovení zrnitosti, zkoušku zhutnitelnosti – Proctor modifikovaný, zkoušku CBR, zkoušku pevnosti v prostém tahu a cyklickou triaxiální zkoušku.

3.1. Zrnitost

Zkouška sestává z roztřídění a oddělení materiálu pomocí sady sít do několika zrnitostních podílů s klesající velikostí částic. Velikosti otvorů sít a počet sít jsou voleny podle druhu vzorku a požadované přesnosti. Hmotnost částic zachycených na jednotlivých sítích se uvádí ve vztahu k počáteční hmotnosti materiálu. Souhrnný propad jednotlivými sítí se uvádí v procentech číselným způsobem, a pokud se požaduje, tak v grafické podobě. [5]

Jednotlivé hmotnosti se zaznamenají do záznamu o zkoušce. Vypočítá se zachycená hmotnost na každém sítě jako procento původní suché hmotnosti. [5]



Obrázek 1: Sada sít pro stanovení zrnitosti

3.2. Zhutnitelnost – Proctor modifikovaný

Hutnění nestmelených směsí a směsí stmelených hydraulickými pojivy je proces, při kterém jsou pevné částice navzájem stále těsněji přibližovány, čímž se zvyšuje suchá objemová hmotnost směsi. Dosažitelná suchá objemová hmotnost závisí na vykonané zhutňovací práci, způsobu vyvozování zhutňovacího účinku a na vlhkosti směsi při hutnění. [8]

Pro daný stupeň zhutňovací práce použité pro určitou směs existuje optimální vlhkost, při které dosahuje získaná suchá objemová hmotnost maximální hodnoty. [8]

Moždíř s připevněnou základní deskou se zváží s přesností na 1 g a zaznamená se hmotnost m_1 . Nástavec se připevní na moždíř a sestava formy se umístí na pevný podklad, například na betonovou podlahu nebo sokl. [4]

Z jednoho připraveného vzorku se do formy vloží takové množství vlhké směsi, aby po zhutnění vyplnilo více než jednu pětinu výšky tělesa. Hutní se 25 údery pěchu o hmotnosti 4,5 kg, který dopadá z výšky 457 mm nad povrchem směsi při řízení vodící tyčí. Údery se rozdělí rovnoměrně po obvodu a je nutné se přesvědčit, že pěch vždy dopadá volně a nepřekáží mu směs ve vodící tyči nebo na ní. [4]

Postup se opakuje ještě čtyřikrát, aby množství směsi naplnilo těleso formy a povrch směsi nebyl více než 10 mm nad horním okrajem formy. Je nezbytné regulovat celkový objem zhutněné směsi. Bylo zjištěno, že výsledky jsou nepřesné, jestliže je příliš velké množství směsi, která se po sejmutí nástavce musí odstranit. Nástavec se sejme, odstraní se přebytečná směs a povrch zhutněné směsi se pravítkem pečlivě zarovná s okrajem moždíře. Jakékoliv hrubé částice, které byly postupně odstraněny během procesu zarovnávání, se nahradí jemnějšími částicemi ze vzorku, které se dobře vtlačí dovnitř. Materiál a moždíř se základní deskou se zváží s přesností na 1 g a hmotnost m_2 se zaznamená. Zhutněná směs se vyjme z formy a umístí se do kovové nádoby, ke stanovení vlhkosti w podle EN 1097-5. [4]

Zkouška zhutnitelnosti se provede s každým ze zbývajících připravených vzorků a získá se tak celkem nejméně pět, anebo, u směsí známých vlastností, alespoň tři stanovené hodnoty. Vlhkosti musí být takové, aby optimální vlhkost, při které se dosáhne maximální objemové hmotnosti suché směsi, ležela blízko středu rozmezí. [4]



Obrázek 2: Modifikovaná Proctorova zkouška

Objemová hmotnost ρ každého zhutněného dílčího vzorku se vypočítá ze vztahu:

$$\rho = \frac{1000 \times (m_2 - m_1)}{a \times h} \quad (2)$$

Výpočet objemové hmotnosti zhutněného materiálu

- kde ρ je objemová hmotnost, v Mg/m^3 ;
 m_1 hmotnost formy, základní desky a nástavce, v g;
 m_2 hmotnost formy, základní desky, nástavce a zhutněné směsi, v g;
 h výška zhutněného dílčího vzorku, v mm;
 a plocha příčného průřezu formy, v mm^2 . [7]

Vlhkost w každého zhutněného dílčího vzorku se vypočítá ze vztahu:

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \quad (3)$$

Výpočet vlhkosti zhutněného materiálu

- kde m_1 je hmotnost misky;
 m_2 hmotnost misky a vlhkého vzorku;
 m_3 hmotnost misky a suchého vzorku.

Suchá objemová hmotnost ρ_d každého zhutněného dílčího vzorku se vypočítá ze vztahu:

$$\rho_d = \frac{100 \times \rho}{100 + w} \quad (4)$$

Výpočet suché objemové hmotnosti zhutněného materiálu

kde ρ je objemová hmotnost, v Mg/m^3 ;
 ρ_d suchá objemová hmotnost, v Mg/m^3 ;
 w vlhkost směsi, v %. [7]

3.3. Kalifornský poměr únosnosti CBR

Kalifornský poměr únosnosti CBR (California Bearing Ratio) byl vyvinut před 2. světovou válkou v Kalifornii. Zkouška byla určena pro měření únosnosti zemin v podloží při výstavbě silnic. V dnešní době CBR slouží jako průkazní a kontrolní zkoušky při vyhodnocení únosnosti podloží a konstrukčních vrstev silničních komunikací. Kalifornský poměr únosnosti je číslo (v %) vyjadřující poměr síly potřebné k zatlačení standardního trnu konstantní rychlostí do stanovené hloubky vzorku zeminy vůči síle potřebné k zatlačení téhož trnu do stejné hloubky v normovém kamenivu. Normové kamenivo pro tuto zkoušku je drcený vápenec nacházející se v Kalifornii (CBR = 100 %). [6]

Výpočtem lze stanovit hodnotu CBR dle vztahu:

$$CBR = \frac{F}{F_s} \times 100 \quad (5)$$

Výpočet Kalifornského poměru únosnosti CBR

kde: F je síla potřebná k zatlačení trnu do stanovené hloubky ve zkoušené zemině [kN]
 F_s je standardní síla potřebná k zatlačení trnu do stanovené hloubky v normovém kamenivu [kN]. [6]

Dno formy se opatří hrubým filtračním papírem, který umožní jednodušší oddělení podkladní desky od vzorku zeminy. Poté se v 5 rovnoměrných vrstvách zhutní připravená zemina beranem o hmotnosti 4,5 kg, který padá z výšky 457 mm. Každá vrstva se hutní 56 údery. Poslední vrstvu je potřeba připravit tak, aby se její povrch po zhutnění nacházel nad okrajem Proctorovy formy bez nástavce. Po zhutnění se vrchní strana vzorku jemně začistí škrabkou

do roviny s okrajem Proctorovy formy a zkontroluje se ocelovým pravítkem. Malé díry, které můžou vzniknout při srovnávání, je možné opravit. [6]

Při zjišťování CBR_{sat} následuje zrání vzorku. Vzorek zeminy je ponořen pod hladinu vody na dobu nejméně 96 hodin. Tento způsob zrání je realizován mezi jednotlivými zkouškami CBR na jednom vzorku. [6]

Připravený vzorek se umístí do středu zatěžovacího lisu. Vrchní strana vzorku se osadí zatěžovacím trnem o průměru 50 mm a zatěžovacími prstenci. Před vlastním měřením se provede dosednutí trnu na vzorek. Čtení zatlačení se po dosednutí trnu nuluje. Poté se spustí samotné měření, během kterého je trn vháněn do vzorku zeminy konstantní rychlostí 1,27 mm/min. Během měření se zaznamenává hodnota síly potřebná k zatlačení trnu o každého 0,5 mm. Měření končí při zaboření trnu o 10 mm. [6]

Křivka závislosti síly na penetraci má mít v celé délce konkávní tvar. V případě špatného dosednutí trnu může mít v první části křivka tvar konvexní. V takovém případě je nutné provést korekci. Inflexním bodem je vedena tečna, jejíž průnik s osou x je zvolen jako nový počátek měření, od nějž se dále odečítají příslušné hodnoty. Standardní síla pro penetraci 2,5 mm je 13,2 kN, pro 5 mm je 20 kN. Hodnotou CBR je pak vyšší z dosažených hodnot.



Obrázek 3: Zkouška CBR

3.4. Pevnost v tlaku

Jednou z metod pro laboratorní stanovení funkčních charakteristik směsí stmelených cementem a jejich klasifikaci je zkouška pevnosti v tlaku R_c . [10]

Zkušební těleso se vystaví tlakové síle až do jeho porušení. Zaznamená se maximální zatížení zkušebního tělesa při porušení a vypočítá se pevnost v tlaku. Zatížení se musí zvyšovat stálým a plynulým způsobem bez rázů tak, aby k porušení došlo v průběhu 30 s až 60 s po zahájení zatěžování. Maximální síla F při porušení musí být zaznamenána. [11]

Pevnost v tlaku R_c zkušebního tělesa je dána následujícím vztahem:

$$R_c = \frac{F}{A_c} \quad (6)$$

Výpočet pevnosti v tlaku R_c

kde: R_c je pevnost v tlaku zkušebního tělesa směsi stmelené hydraulickým pojivem v MPa

F maximální síla při porušení zkušebního tělesa v N;

A_c plocha průřezu zkušebního tělesa směsi stmelené hydraulickým pojivem v mm². [11]



Obrázek 4: Zkouška pevnosti v tlaku R_c

3.5. Cyklická triaxiální zkouška

Cyklická triaxiální zkouška s cyklickým zatěžováním poskytuje metodu pro stanovení mechanických vlastností nestmelené směsi. Tato zkouška byla zavedena v mnoha zemích EU včetně ČR a je popsána v ČSN EN 13286-7. Použití této zkušební metody přispívá k rozvoji zkušeností a znalostí ke stanovení vhodného kritéria pro posuzování směsi do konstrukce vozovky pozemní komunikace. [9]

Pro ilustraci lze uvést chování nestmelených materiálů při cyklické triaxiální zkoušce, která ukazuje, že při komorovém tlaku 40 kPa je modul pružnosti cca 1,7krát větší než při komorovém tlaku 13 kPa. Důvodem je to, že odpor proti přetvoření je dán především třením mezi zrny. Při větších napětích je tření větší, zrna se vlivem zatížení obtížněji přemísťují, materiál se méně přetváří a vypočtený modul pružnosti je vyšší. (To je zásadní rozdíl proti chování zemin soudržných, kde jsou deformace od zatížení především ovlivňovány vlhkostí a tlakem vody v pórech). [9]



Obrázek 5: Cyklická triaxiální zkouška

Cyklická triaxiální zkouška spočívá v zatěžování válcových vzorků, připravených z nestmelené směsi, cyklickým napětím, které kopíruje různý rozsah napětí působící na nestmelenou vrstvu vozovky, a v měření osového a radiálního přetvoření vzorků způsobených tímto zatěžováním. Metoda A (Metoda proměnlivého komorového tlaku), aplikuje cyklický osový deviátor napětí a proměnlivý (cyklický) komorový tlak s proměnlivou fází působení. Může být rovněž přijata metoda B, zjednodušený režim napětí s cyklickým osovým deviátorem napětí a konstantním komorovým tlakem. [12]

Vzorky musí mít průměr větší, než je pětinasobek maximální velikosti částice materiálu a výšku, která je dvojnásobkem průměru (± 2 %). Aplikují se různé metody přípravy pro dosažení požadovaných vlastností (vlhkosti a objemové hmotnosti). Metodou by se mělo dosáhnout homogenních vlastností vzorků. Metoda přípravy vzorků se musí zaznamenat. [12]

4. Praktická část

Praktická část je zaměřena na popis a vyhodnocení konkrétních zkoušek prováděných v laboratoři. Hlavním cílem praktické části práce je stanovení modulů pružnosti E_r jednotlivých materiálů cyklickou triaxiální zkouškou. Jedná se o materiály nestmelené (šterk frakce 0/16, šterk frakce 0/22, a R-materiál) a orientačně také stmelené (kamenivo s 5 % a 10 % obsahu cementu). Tyto hodnoty pak budou porovnány s hodnotami modulů pružnosti stanovenými v TP 170 – Navrhování vozovek pozemních komunikací. Hodnoty modulů pružnosti E_r v TP 170 jsou totiž relativně vysoké a je nutné hodnoty E_r porovnat a ověřit závislost mezi nimi z důvodu optimálnějšího dimenzování vozovek. Dalšími cíli je provedení dílčích zkoušek vedoucích k charakterizaci a určení vlastností výchozích materiálů, jako je stanovení zrnitosti, zhutnitelnosti a optimální vlhkosti, Kalifornského poměru únosnosti CBR pro nestmelené směsi a pevnosti v prostém tlaku pro směsi stmelené cementem.

4.1. Zrnitost

Výchozím materiálem pro práci bylo kamenivo z kamenolomu Olbramovice, dodané v jednotlivých frakcích 0/4, 4/8 a 8/16. Z důvodu nedostatečného množství tohoto materiálu pro provedení všech zkoušek bylo v průběhu práce doplněno další kamenivo z pískovny Žabčice v jednotlivých frakcích 0/4, 4/8, 8/11, 11/16 a 16/22. Materiály, jak bude ukázáno v dalších kapitolách, měly rozdílné fyzikálně-mechanické vlastnosti. Ačkoliv byl materiál míchán tak, aby každá jednotlivá směs byla pro všechny prováděné zkoušky míchána ve stejném poměru a ze stejné výchozí suroviny, vzhledem rozdílným vlastnostem šterku frakce 0/16 a šterku frakce 0/22 může být porovnání výsledků jednotlivých směsí touto skutečností zkresleno.

U všech materiálů byla snaha přiblížit se křivkou zrnitosti co nejbližší Fullerově parabole, která zajišťuje optimální rozložení zatížení v materiálu, jak bylo popsáno v teoretické části. Výchozí materiál však obsahoval nedostatečné množství jemných částic, bylo tedy nutné jej doplnit filerem z důvodu lepší zpracovatelnosti směsí.

Pro stanovení zrnitosti byl nejprve materiál vysušen a následně prosát přes sadu sít dle ČSN EN 933-1. Vážením množství materiálu propadlého jednotlivými sítí v poměru

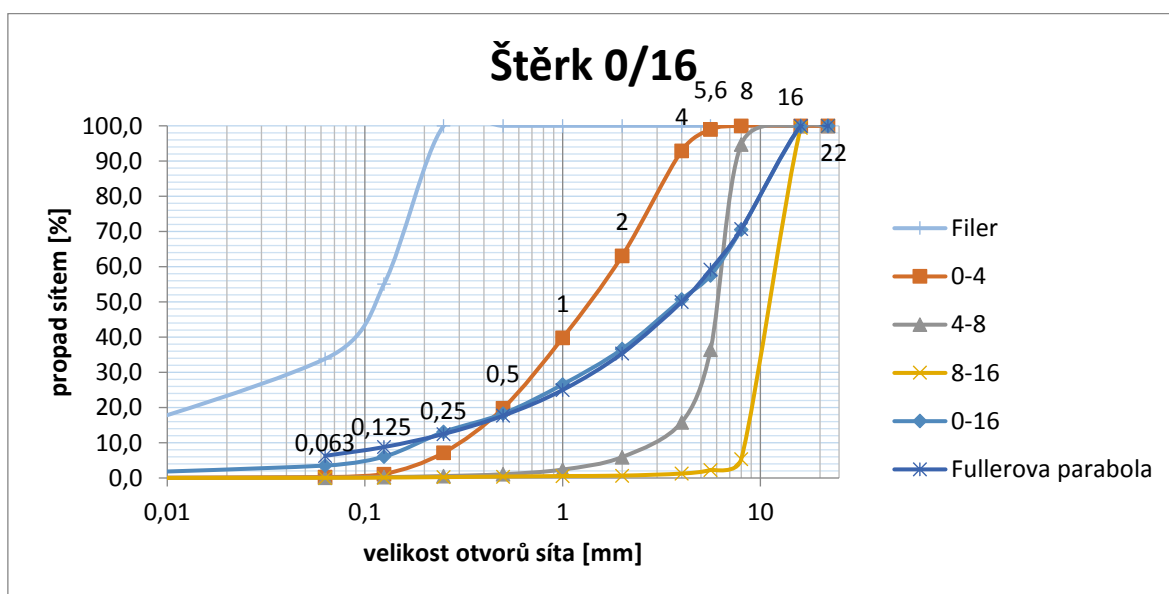
k celkové hmotnosti navážky byl stanoven procentuální propad jednotlivými síty a zjištěna křivka zrnitosti.

4.1.1. Zrnitost – štěrk 0/16

Pro štěrk frakce 0/16 bylo použito kamenivo Olbramovice. Síťový rozbor jednotlivých frakcí je zobrazen v grafu 1.



Obrázek 6: Štěrk frakce 0/16



Graf 1: Síťový rozbor štěrku frakce 0/16

Materiál byl míchán v poměru dle tabulky 1.

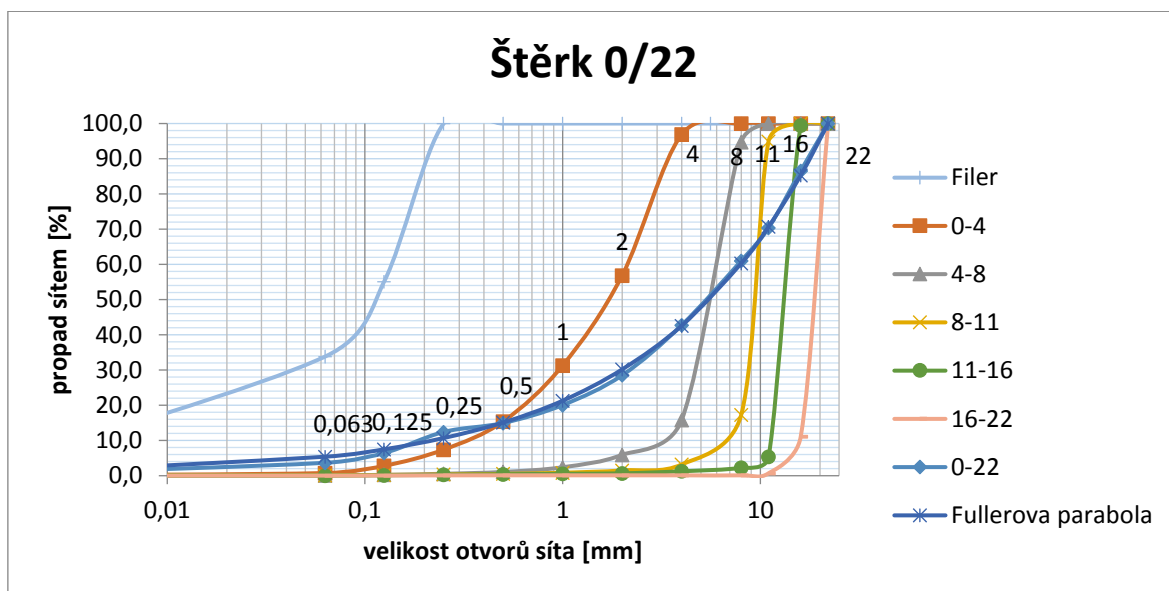
Tabulka 1: Poměr míchání štěrku frakce 0/16

filer	10 %
0/4	40 %
4/8	20 %
8/16	30 %

Obsah jemných částic ve směsi je přibližně 4 %.

4.1.2. Zrnitost – štěrk 0/22

Pro štěrk frakce 0/22 bylo použito kamenivo Žabčice. Sítový rozbor jednotlivých frakcí je zobrazen v grafu 2.



Graf 2: Sítový rozbor štěrku frakce 0/22

Materiál byl míchán v poměru dle tabulky 2.

Tabulka 2: Poměr míchání štěrku frakce 0/22

filer	10 %
0/4	30 %
4/8	20 %
8/11	10 %
11/16	15 %
16/22	15 %

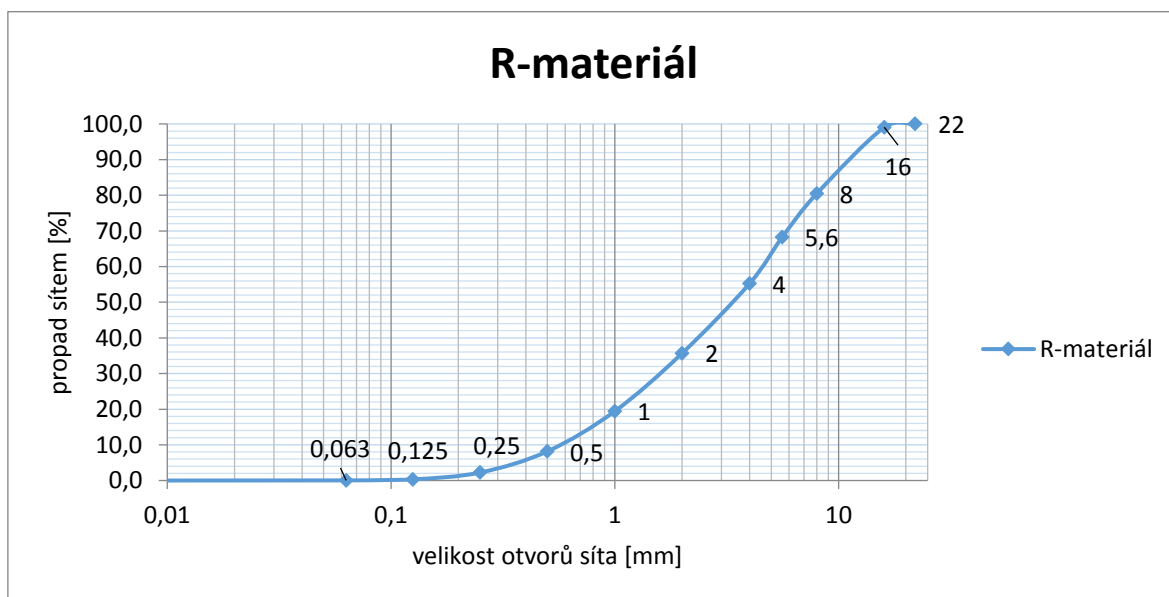
Obsah jemných částic ve směsi je přibližně 4 %.

4.1.3. Zrnitost – R-materiál

Byl použit R-materiál z obalovny Rajhradice. Pro účely výzkumu byla z R-materiálu odstraněna všechna zrna nad velikost 22 mm. Sítový rozbor R-materiálu frakce 0/22 je zobrazen v grafu 3.



Obrázek 7: R-materiál frakce 0/22

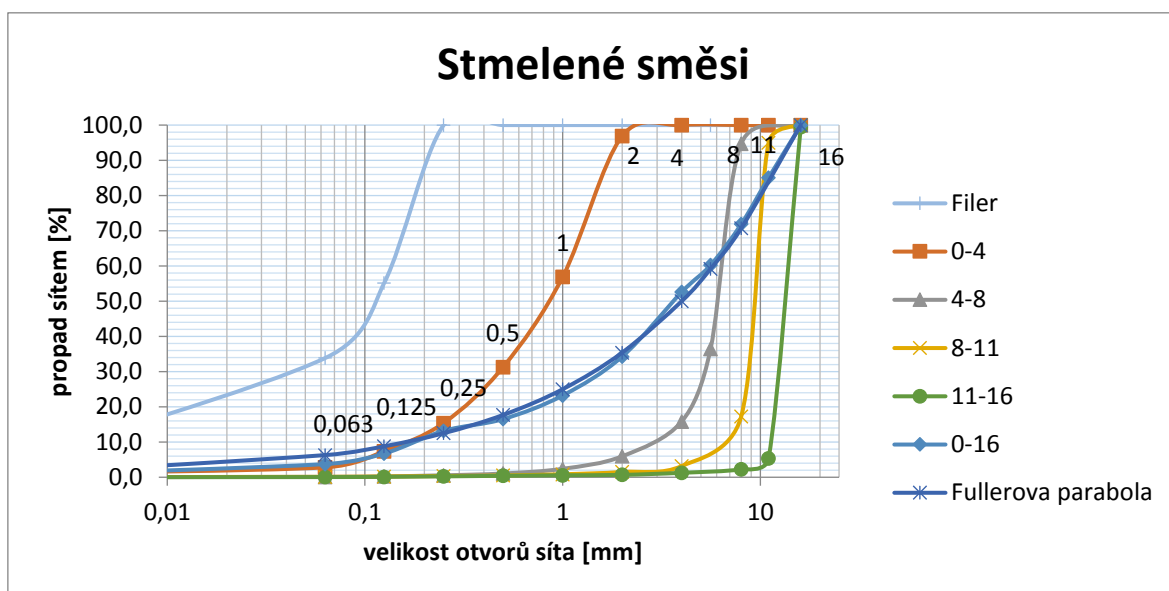


Graf 3: Sítový rozbor R-materiálu

Obsah jemných částic v R-materiálu je 0 %.

4.1.4. Zrnitost – stmelené směsi

Pro stmelené směsi bylo použito kamenivo Olbramovice frakce 4/8 a kamenivo Žabčice frakce 0/4, 8/11 a 11/16. Výsledná frakce materiálu byla 0/16. Sítový rozbor materiálu je zobrazen v grafu 4.



Graf 4: Sítový rozbor materiálu pro stmelené směsi

Materiál byl míchán v poměru dle tabulky 3.

Tabulka 3: Poměr míchání kameniva pro stmelené směsi

filer	10 %
0/4	40 %
4/8	20 %
8/11	15 %
11/16	15 %

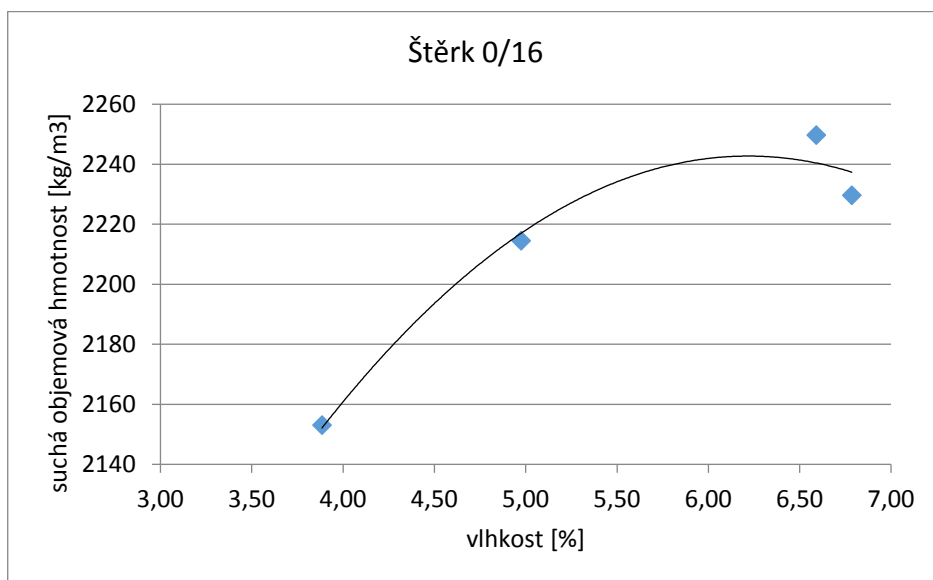
Obsah jemných částic ve směsi je přibližně 4 %.

4.2. Zhutnitelnost

Stanovení zhutnitelnosti a optimální vlhkosti bylo prováděno u všech směsí modifikovanou Proctorovou zkouškou. Zkouška byla prováděna tak, že od každé směsi bylo naváženo 5 vzorků, které byly navlhčeny na různé vlhkosti. Následně byly jednotlivé vzorky zhutněny pýchem o hmotnosti 4,5 kg z výšky 457 mm do formy hmotnosti $m = 6,511$ kg, průměru $d = 100$ mm a výšky $v = 120$ mm v 5 vrstvách, 25 úderů na vrstvu. Vzorky byly hutněny tak,

aby po zhutnění poslední vrstvy výška vzorku lícovala s horní hranou formy. Přechýlající materiál byl odstraněn, nahrazen zbývajícím jemnozrnným materiálem a vtlačen pravítkem. Dále byla forma se vzorkem zvážena. Poté byla z formy odebrána menší část vzorku pro určení vlhkosti, která byla zvážena před a po vysušení v sušárně. Na základě těchto měření bylo možné ze vztahů 2, 3 a 4 určit objemovou hmotnost a vlhkost jednotlivých vzorků směsi a následně suchou objemovou hmotnost, jejíž závislost na vlhkosti byla vynesena do grafu a proložena parabolou druhého stupně, ze které byla na závěr odečtena optimální vlhkost a maximální suchá objemová hmotnost při této vlhkosti.

4.2.1. Zhutnitelnost – štěrk 0/16



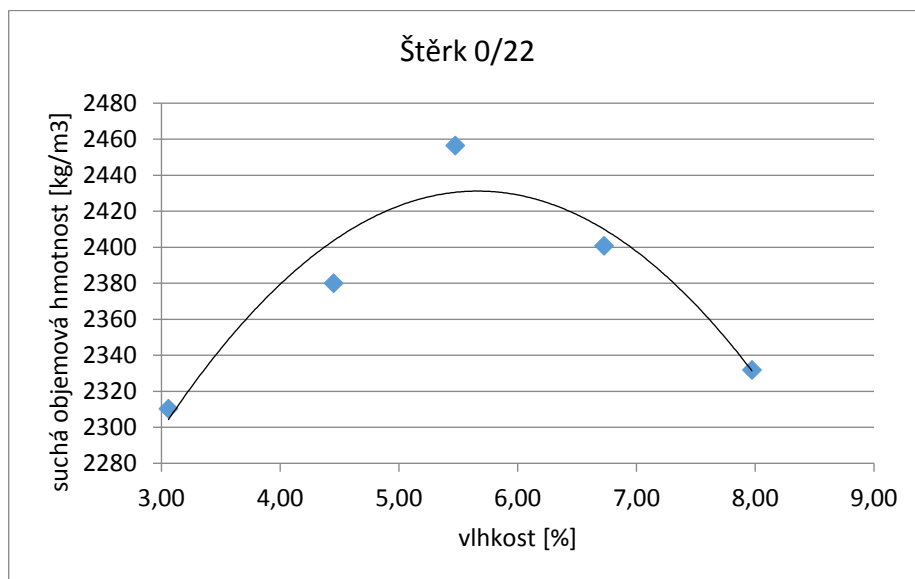
Graf 5: Zhutnitelnost štěrku 0/16

U štěrku 0/16 byl nastaven krok zvyšování vlhkosti mezi jednotlivými vzorky o 2 %. U prvního vzorku byly přidány 3 % hmotnosti vody, do pátého vzorku tedy bylo přidáno 11 % hmotnosti vody. V průběhu zkoušky se ukázalo, že při tomto kroku dochází u vzorků s vyšší vlhkostí ke značnému převlhčení, což má za následek vytlačování velkého množství vody při hutnění z formy. Při hutnění pátého vzorku musela být tedy zkouška přerušena a vzorek byl z měření vyřazen. Z křivky zhutnitelnosti byla odečtena maximální suchá objemová hmotnost $\rho_d = 2240 \text{ kg/m}^3$ při optimální vlhkosti $w_{opt} = 6 \%$.



Obrázek 8: Nevydařená zkouška zhutnitelnosti štěrku 0/16 pro $w = 11 \%$

4.2.2. Zhutnitelnost – štěrk 0/22

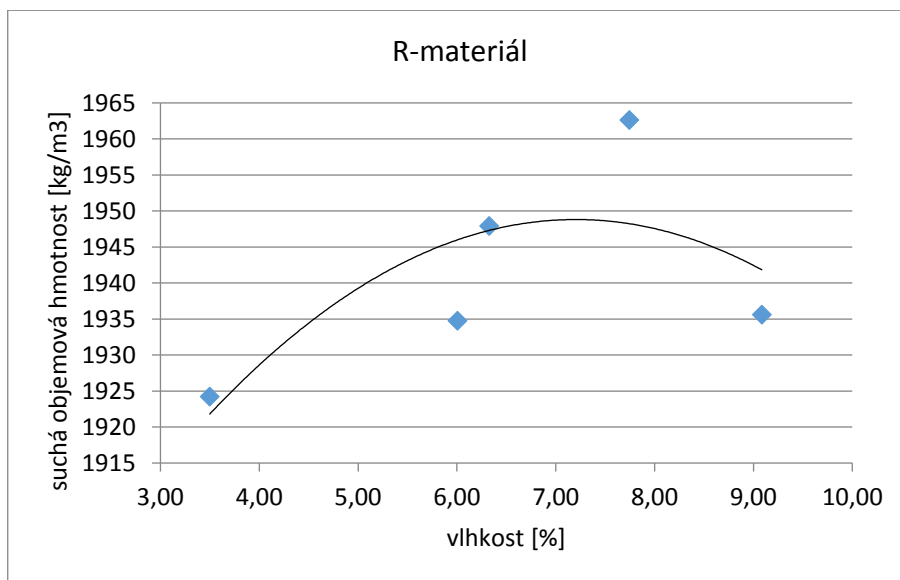


Graf 6: Zhutnitelnost štěrku 0/22

U štěrku frakce 0/22 byl krok zvyšování vlhkosti nastaven na 1,5 %. Do prvního vzorku byly přidány 3 % vody a do pátého 9 %. Vlhkost tedy nedosahovala tak vysokých hodnot a bylo možno uskutečnit 5 měření. Z křivky zhutnitelnosti byla odečtena maximální suchá objemová hmotnost $\rho_d = 2430 \text{ kg/m}^3$ při optimální vlhkosti $w_{\text{opt}} = 5,5 \%$. Je patrné, že objemová hmotnost štěrkodrti frakce 0/22 je cca o 200 kg/m^3 vyšší, než u frakce 0/16.

Předpokládám, že je to způsobeno použitím jiné výchozí suroviny, jak bylo popsáno v kapitole 4.1. Zrnitost.

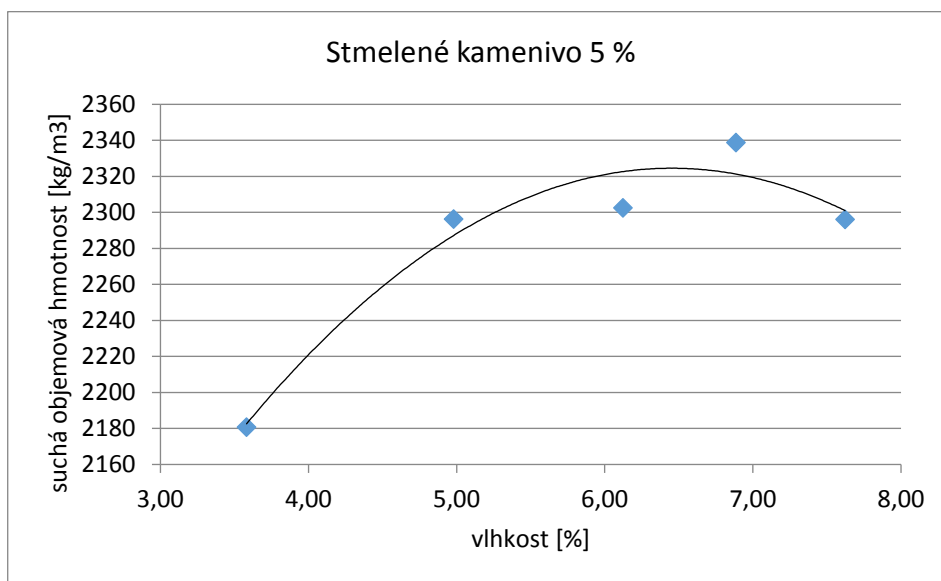
4.2.3. Zhutnitelnost – R-materiál



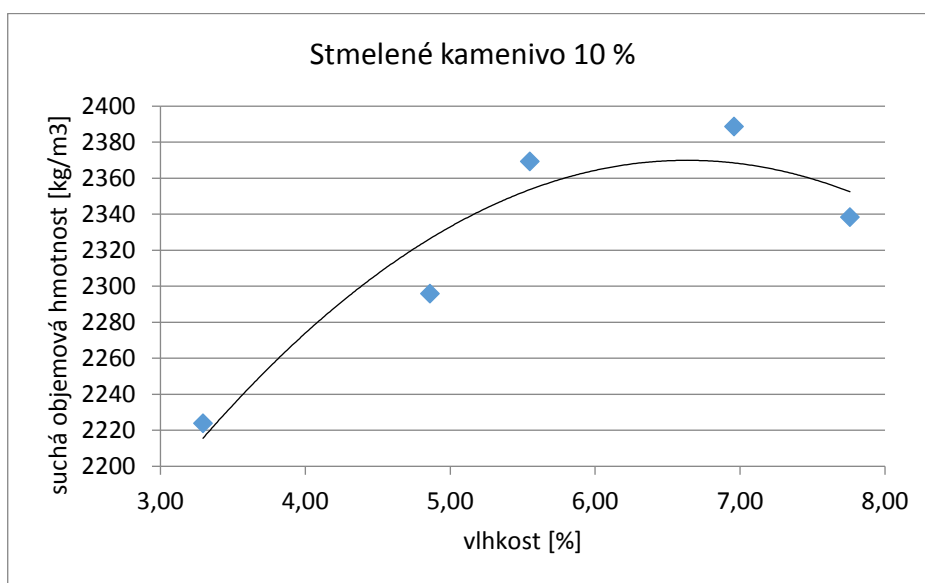
Graf 7: Zhutnitelnost R-materiálu

U R-materiálu byl použit stejný krok zvyšování vlhkosti jako u šterku frakce 0/22. Z grafu je vidět, že některá měření se výrazněji odchylojí od křivky. To může být způsobeno nízkým množstvím jemných částic menších než 0,063 mm ve směsi. Přidaná voda se pak neváže všechna ve směsi a při hutnění může vytékat z formy ven. Z křivky zhutnitelnosti byla odečtena maximální suchá objemová hmotnost $\rho_d = 1950 \text{ kg/m}^3$ při optimální vlhkosti $w_{opt} = 7 \%$. Z důvodu odchylek při měření je však nutné tyto hodnoty považovat spíše jen za orientační.

4.2.4. Zhutnitelnost – stmelené směsi



Graf 8: Zhutnitelnost stmeleného kameniva s 5 % cementu



Graf 9: Zhutnitelnost stmeleného kameniva s 10 % cementu

U obou stmelených směsí byl použit stejný krok zvyšování vlhkosti jako u štěrku frakce 0/22. Výsledné optimální vlhkosti obou směsí jsou velmi podobné. Z křivky zhutnitelnosti směsi s 5 % cementu byla odečtena maximální suchá objemová hmotnost $\rho_d = 2320 \text{ kg/m}^3$ při optimální vlhkosti $w_{opt} = 6,5 \%$. U směsi s 10 % cementu pak maximální suchá objemová hmotnost $\rho_d = 2370 \text{ kg/m}^3$ při optimální vlhkosti $w_{opt} = 6,5 \%$.

4.2.5. Zhutnitelnost – shrnutí výsledků

Tabulka 4: Výsledky zkoušky zhutnitelnosti

	štěrk 0/16	štěrk 0/22	R-materiál	stmelená 5 %	stmelená 10 %
ρ_d [kg/m ³]	2240	2430	1950	2320	2370
w_{opt} [%]	6	5,5	7	6,5	6,5

Štěrk frakce 0/16 je v práci použit pro směs s označením ŠD 0/16. Naměřené hodnoty modulu pružnosti E_r této směsi budou porovnávány s návrhovým modulem pružnosti odpovídající vrstvě s názvem štěrkokodrt – ŠD.

Štěrk frakce 0/22 je v práci použit pro směs s označením ŠD 0/22. Naměřené hodnoty modulu pružnosti E_r směsi ŠD 0/22 budou porovnávány s návrhovým modulem pružnosti odpovídající vrstvě s názvem štěrkokodrt – ŠD. Dále je použit pro směs s označením MZK. Naměřené hodnoty modulu pružnosti E_r směsi MZK budou porovnávány s návrhovým modulem pružnosti odpovídající vrstvě s názvem mechanicky zpevněné kamenivo – MZK.

MZK klade vyšší nároky na zrnitost a vlhkost při hutnění. Zrnitost je u obou směsí stejná. Zvyšování či snižování množství jemných částic ve směsi by bylo možné pouze přidáváním většího či menšího množství fileru. Při výrobě směsí však byla snaha použít pouze jeho nezbytně nutné množství, aby nedocházelo k ovlivňování výsledků zjištěných modulů pružnosti. Zároveň jeho úplné vyřazení mělo za následek nesoudržnost a rozpadavost vzorků už při vyjímání z formy a následné manipulaci. Proto byly směsi odlišeny množstvím vody přidávané do směsí při výrobě zkušebních vzorků. Požadavek pro pokládku vrstvy MZK je, aby byla směs vlhčena na optimální vlhkost s maximální odchylkou -2 % a +1 %. Pro štěrkokodrt pak takovýto požadavek není a směs je možné hutnit i za sucha. Z technologických důvodů je v laboratoři nutné jistou dávkou vody přidat, aby bylo možné vzorek zhutnit a nerozpadal se. Při výrobě vzorků ze směsi MZK byla tedy směs vlhčena na optimální vlhkost $w_{opt} = 5,5 \%$ a směs s označením ŠD 0/22 byla vlhčena na vlhkost $w = 2,5 \%$.

4.3. Kalifornský poměr únosnosti CBR

Kalifornský poměr únosnosti CBR byl použit jako pomocná zkouška pro určení únosnosti nestmelených směsí. Pro každou směs byla provedena okamžitá zkouška CBR, provedená hned po zhutnění směsi do formy, a také saturovaná CBR_{sat} , u které byl před zkouškou vzorek po dobu 96 hodin ponořen ve vodě.

Výroba vzorků probíhala hutněním směsi modifikovanou Proctorovou zkouškou do formy B, tedy forma průměru $d = 150$ mm a výšky $v = 120$ mm s porézní podstavou. Směsi byly navlhčeny na optimální vlhkosti (ŠD 0/22 na 2,5 %). Hutnění probíhalo ručně pěsthem hmotnosti 4,5 kg z výšky 457 mm v 5 vrstvách 56 údery na vrstvu. Po zhutnění byla na vzorku provedena okamžitá zkouška CBR. Po zkoušce byl otvor od vtlačení trnu vyplněn zbylým materiálem, forma byla obrácena, aby spodní podstava vzorku byla nahoře, vzorek byl přitížen zatěžovacími prstenci a umístěn do vodní lázně na dobu 96 hodin tak, aby byl celý vzorek pod hladinou vody a voda mohla do vzorku pronikat shora i zespodu porézní podstavou. Po saturování vzorku byl tento vyjmut z vodní lázně, nechal se okapat a byla na něm provedena zkouška CBR_{sat} .

4.3.1. CBR – shrnutí výsledků

Výsledky zkoušky CBR jsou graficky znázorněny v příloze A. V této kapitole jsou vyhodnoceny a přehledně zobrazeny v tabulce 5 a 6. Standardní síla pro penetraci 2,5 mm je 13,2 kN, pro 5 mm je 20 kN.

Tabulka 5: Výsledky zkoušky CBR

	CBR okamžitý				
	Síla 2,5 mm [kN]	Síla 5 mm [kN]	CBR 2,5 mm [%]	CBR 5 mm [%]	CBR [%]
ŠD 0/16	17,5	31	132,6	155,0	100
ŠD 0/22	15,4	32,3	116,7	161,5	100
MZK	17,8	33,3	134,8	166,5	100
R-materiál	1,2	2,5	9,1	12,5	13

Tabulka 6: Výsledky zkoušky CBR_{sat}

	CBR saturovaný				
	Síla 2,5 mm [kN]	Síla 5 mm [kN]	CBR 2,5 mm [%]	CBR 5 mm [%]	CBR_{sat} [%]
ŠD 0/16	28,6	49,1	216,7	245,5	100
ŠD 0/22	25,6	48,3	193,9	241,5	100
MZK	22,8	45,9	172,7	229,5	100
R-materiál	2,1	3,8	15,9	19,0	19

Směsi ŠD 0/16, ŠD 0/22 i MZK dosahují hodnoty CBR i CBR_{sat} 100 %, což odpovídá požadavku pro použití do vrstvy MZK.



Obrázek 9: Vzorek směsi ŠD 0/22 po zkoušce CBR

R-materiál není standardně používaným materiálem, není u něj tedy určena požadovaná hodnota. Pro srovnání lze uvést, že požadovaná hodnota CBR_{sat} u vrstvy MZ – mechanicky zpevněná zemina je 20 %. R-materiál nedosahuje ani této hodnoty.

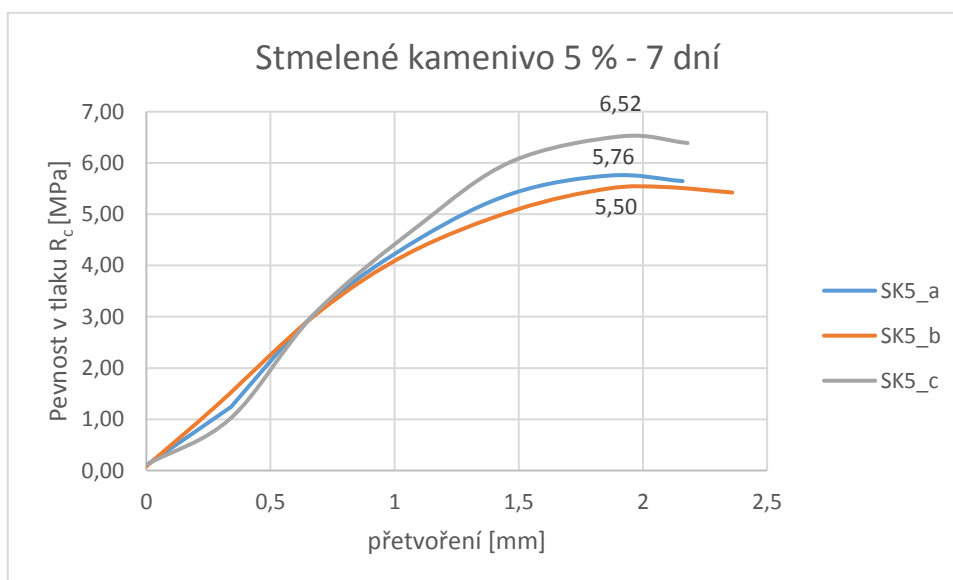
4.4. Pevnost v tlaku R_c

Zkouška pevnosti v tlaku R_c byla prováděna na stmelených směsích pro jejich zatřídění a určení předpokládaného modulu pružnosti E_r . Pro každou směs byly vyrobeny 2 sady vzorků po 3 kusech, jedna sada pro určení 7denní pevnosti, druhá pro 28denní pevnost. Byl použit cement CEM II 32,5 R.

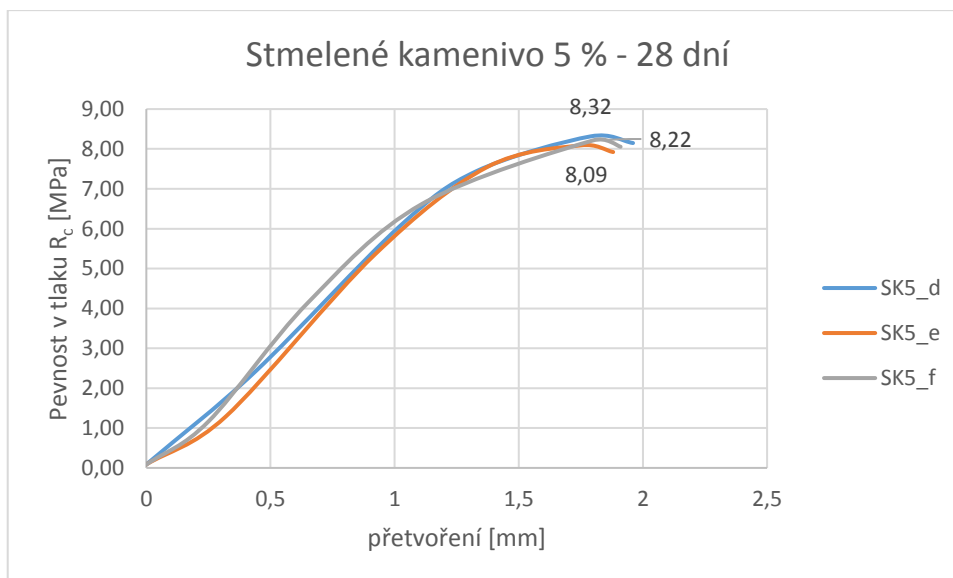
Výroba vzorků probíhala lisováním statickým tlakem 200 kg/cm^2 do formy průměru $d = 100 \text{ mm}$ a výšky $v = 100 \text{ mm}$. Kamenivo bylo nejprve smícháno s příslušným množstvím cementu (5 % a 10 %), navlhčeno na optimální vlhkost a následně byla ze směsi vyrobena válcová tělesa, která byla umístěna ke zrání. Prvních 7 dní zrání probíhalo ve vlhkém prostředí, aby nedocházelo ke ztrátě vlhkosti, dalších 21 dní u sady pro 28denní pevnost zrály vzorky na vzduchu při teplotě cca $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pro cement CEM II 32,5 R a teplotu tuhnutí okolo $20 \text{ }^\circ\text{C}$ platí, že 7denní pevnost je rovna přibližně 75 % 28denní pevnosti. Této skutečnosti je využito při vyhodnocení 28denní pevnosti směsi s 10 % cementu. U té totiž došlo k dosažení maximální síly, kterou je laboratorní lis schopen vyvinout, tedy 100 kN , přičemž nedošlo k porušení vzorku.

4.4.1. Pevnost v tlaku R_c – shrnutí výsledků



Graf 10: Pevnost v tlaku R_c stmeleného kameniva s 5 % cementu 7denní



Graf 11: Pevnost v tlaku R_c stmeleného kameniva s 5 % cementu 28denní

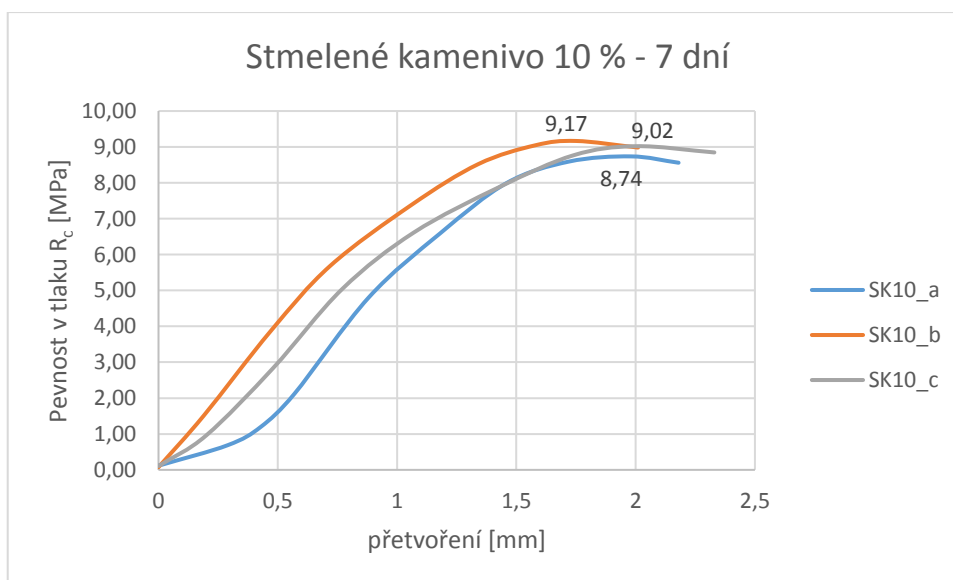
Tabulka 7: Výsledky pevnosti v tlaku R_c směsi s 5 % cementu

	7denní			28denní		
	SK5_a	SK5_b	SK5_c	SK5_d	SK5_e	SK5_f
Pevnost v tlaku R_c [MPa]	5,76	5,5	6,52	8,32	8,09	8,22

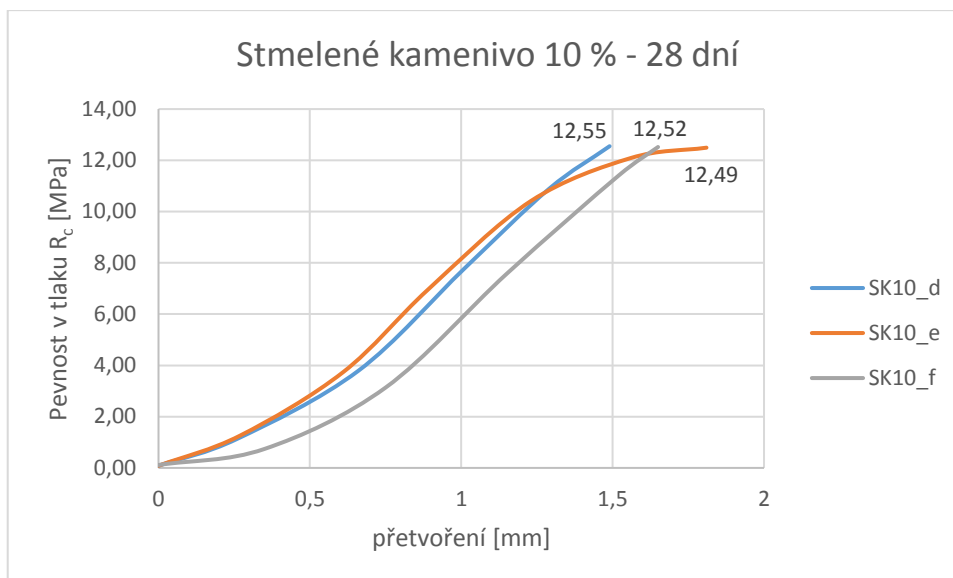
28denní pevnost v tlaku R_c směsi s 5 % cementu dosahuje hodnot 8,09 – 8,32 MPa, což dle normy ČSN EN 14227-1 odpovídá třídě pevnosti $C_{6/8}$. V dalších částech práce tedy bude stmelená směs s 5 % cementu označena jako **SC 0/16; $C_{6/8}$** .



Obrázek 10: Vzorek směsi SC 0/16; C_{6/8} před a po zkoušce pevnosti v tlaku R_c



Graf 12: Pevnost v tlaku R_c stmeleného kameniva s 10 % cementu 7denní



Graf 13: Pevnost v tlaku R_c stmelého kameniva s 10 % cementu 28denní

Tabulka 8: Výsledky pevnosti v tlaku R_c směsi s 10 % cementu

	7denní			28denní		
	SK10_a	SK10_b	SK10_c	SK10_d	SK10_e	SK10_f
Pevnost v tlaku R_c [MPa]	8,74	9,17	9,02	12,55	12,49	12,52

7denní pevnost v tlaku R_c směsi s 10 % cementu se pohybuje okolo 9 MPa, což by mělo odpovídat 75 % 28denní pevnosti. 28denní pevnost v tlaku R_c by tedy měla vycházet přibližně 12 MPa. Ze zkoušky vyplývá, že je pevnost o něco vyšší. U vzorku SK10_e je však patrné, že se vzorek již blížil dosažení své pevnosti. Lze předpokládat, že u dalších dvou vzorků by byl trend podobný a měly by dosáhnout hodnoty pevnosti v tlaku R_c mezi 12 MPa a 16 MPa, což dle normy ČSN EN 14227-1 odpovídá třídě pevnosti $C_{9/12}$. V dalších částech práce tedy bude stmelená směs s 10 % cementu označena jako **SC 0/16; $C_{9/12}$** .

4.5. Cyklická triaxiální zkouška

Cyklická triaxiální zkouška slouží k určení modulu pružnosti E_r materiálu. Zkouška simuluje cyklické zatěžování vrstvy, ke kterému dochází působením dynamických účinků na vozovku od dopravy. Při zkoušce na zkušební těleso v tlakové komoře triaxiálního přístroje působí trojosý tlak, ve vodorovném směru je to komorový tlak simulující tlak okolního prostředí v kontinuu vrstvy, ve svislém směru pak komorový tlak + tlak pístu cyklicky zatěžující vzorek (deviátor napětí), simulující zatížení od těžké nákladní dopravy. Působením svislého napětí se vzorek deformuje, deformace v závislosti na svislém napětí se zaznamenává pro určení modulu pružnosti E_r , který je pak vztažen k hodnotě svislého napětí. Modul pružnosti E_r je na velikosti tlaku přímo závislý, se vzrůstajícím komorovým tlakem přímo úměrně roste i modul pružnosti E_r . Výsledkem cyklické triaxiální zkoušky je pak spektrum hodnot modulu pružnosti E_r v závislosti na komorovém a svislém tlaku.

Pro zkoušku se používají válcová tělesa o průměru $d = 100$ mm a výšce $v = 200$ mm. Maximální velikost zrna ve vzorku nemá překračovat pětinasobek průměru zkušebního vzorku. Standardně se však používají do podkladních vrstev materiály s maximální velikostí zrn 32 mm nebo i 45 mm. Tyto směsi tedy nemohou být standardní cyklickou triaxiální zkouškou zkoušeny. V práci tedy dochází ke kompromisu, kdy jsou používány směsi s maximální velikostí zrn 22 mm, tedy o 2 mm větší, než je povolená hodnota. K možnému zkreslení výsledků touto skutečností pak v práci nebylo přihlíženo.

Výroba vzorků byla prováděná tak, že byl materiál navlhčen na optimální vlhkost (kromě ŠD 0/22, která byla vlhčena na 2,5 %) a poté byl staticky hutněn do formy lisováním. Z časových důvodů byly jako první vyráběny vzorky ze stmelěných směsí, u kterých bylo nutné až 28 dní zrání. V počáteční fázi provázely výrobu vzorků z nestmelěných směsí problémy. Vzorky se nejprve rozpadaly už při vyjímání z formy, později, když se podařilo jejich vyjmutí, se rozpadaly při následné manipulaci a dále i při samotné zkoušce po prvních několika stovkách zatěžovacích cyklů. U stmelěných směsí k problémům s rozpadáním nedocházelo. Proto se metoda výroby vzorků z nestmelěných směsí liší ve velikosti tlaku, kterým byly vzorky lisovány. U stmelěných směsí byl použit tlak 200 kg/cm^2 , u nestmelěných pak 300 kg/cm^2 .

Z nestmelených směsí byla pro zkoušku vyráběna vždy jedna sada vzorků po 3 kusech pro každou ze směsí s označením vzorků a , b a c . Vzorky z nestmelených směsí byly po vyjmutí z formy sušeny na vzduchu po dobu minimálně 24 hodin.



Obrázek 11: Nevydařené vzorky směsi ŠD 0/16 při cyklické triaxiální zkoušce

Z obou nestmelených směsí byly vyrobeny 2 sady vzorků po 3 kusech, jedna pro určení 7denního (vzorky s označením a , b a c), druhá pro 28denního (vzorky s označením d , e a f) modulu pružnosti. Vzorky ze stmelených směsí byly po vyjmutí z formy uloženy ke zrání. Prvních 7 dní zrání byly vzorky uloženy ve vlhkém prostředí. Vzorky pro určení 28denního modulu pružnosti E_r pak zbylých 21 dní zrály na vzduchu při teplotě cca 20 °C.

Zkoušení probíhalo podle normy ČSN EN 13286-7, metoda B – úroveň nízkého napětí. Nejprve probíhalo 10000 cyklů kondicionování vzorku při komorovém tlaku 70 kPa a deviatoru napětí 200 kPa, aby bylo dosaženo elastického chování vzorku a nedocházelo při měření k plastickým deformacím. Následně proběhlo samotné měření při spektru napětí zobrazených v tabulce 9, pro každý řádek bylo provedeno 100 zatěžovacích cyklů, z nichž bylo vypočteno poměrné přetvoření a dále modul pružnosti E_r .

Tabulka 9: Předepsané hodnoty komorového tlaku a deviátoru napětí cyklické triaxiální zkoušky, metoda B – úroveň nízkého napětí

komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]
20	20
20	35
20	50
20	70
35	35
35	50
35	70
35	90
35	120
50	50
50	70
50	90
50	120
50	160
70	70
70	90
70	120
70	160
70	200
100	90
100	120
100	160
100	200
100	240
150	120
150	160
150	200
150	240
150	300

4.5.1. Přehled výsledků

Podrobný výčet výsledků cyklické triaxiální zkoušky pro každý vzorek zvlášť je v tabulkách a grafech zanesen v příloze B. V této kapitole jsou výsledky přehledně shrnuty a vyhodnoceny. Tabulka 10 zobrazuje hodnoty modulu pružnosti E_r z TP 170. V tabulkách 11 a 12 jsou zobrazeny naměřené hodnoty všech vzorků pro komorový tlak 70 kPa, který odpovídá vodorovnému namáhání horní podkladní vrstvy pod třívrstevným asfaltovým krytem. V tabulkách jsou oranžovou barvou zvýrazněny hodnoty, které se výrazně liší od pravděpodobného výsledku. Pracovní diagramy těchto vzorků, jak jsou zobrazeny v příloze B, mají průběh výrazně odlišný od předpokládaného. Z toho lze usoudit, že měření těchto vzorků neodpovídají skutečnosti a na tyto hodnoty jsou z vyhodnocení vyřazeny.

Tabulka 10: Návrhový modul pružnosti E vybraných materiálů dle TP 170

	Návrhový modul pružnosti E [MPa]
ŠD	400
MZK	600
SC C _{5/6}	2000
SC C _{8/10}	2500

[13]

Tabulka 11: Výsledky cyklické triaxiální zkoušky nestmelených směsí

	Modul pružnosti E_r [MPa]		
	vzorek a	vzorek b	vzorek c
ŠD 0/16	203 - 317	264 - 353	213 - 311
ŠD 0/22	587 - 751	556 - 748	428 - 471
MZK	516 - 642	414 - 641	587 - 797
R-materiál	-	960 - 1819	250 - 357

Z výsledků je patrné, že směs ŠD 0/16 dosahuje hodnot cca 200 – 350 MPa. Tyto hodnoty jsou pod hodnotou z TP 170. Naopak směs ŠD 0/22 dosahuje hodnot cca 430 – 750 MPa, tedy nad 400 MPa dle TP 170. Rozdíl mezi oběma směsmi je ve třech hlediscích. Prvním je maximální velikost zrna, druhým je rozdílná výchozí surovina a tím pádem jiná objemová hmotnost (u ŠD 0/22 je cca o 200 kg/m³ vyšší než u ŠD 0/16), třetím je vlhkost při hutnění (u ŠD 0/16 je $w = 6\%$, u ŠD 0/22 je $w = 2,5\%$). Předpokládám, že na rozdíl mezi směsmi mají vliv první dvě hlediska. Pro zjištění, které hledisko má větší vliv by bylo nutné provést další zkoušky. Rozdíl ve vlhkosti se zdá být málo relevantní, jak bude objasněno v dalším odstavci.



Obrázek 12: Vzorek směsi ŠD 0/16 po cyklické triaxiální zkoušce

Směs MZK dosahuje hodnot cca 420 – 800 MPa. Při porovnání s TP 170, podle kterého má MZK mít návrhový modul pružnosti $E = 600$ MPa, je zřejmé, že tato směs požadovaných hodnot dosahovat může. Vzorek *c* má nejnižší hodnotu jen mírně pod 600 MPa a je možné jej prohlásit za vyhovující. Vzorky *a* a *b* překračují 600 MPa jen pro jednu či dvě úrovně napětí. Proto bych tyto vzorky označil po srovnání s TP 170 za nevyhovující. Zajímavým poznatkem je, že výsledky MZK a ŠD 0/22 jsou velmi podobné. Rozdíl mezi směsmi spočíval v rozdílném množství vody (u MZK je $w = 5,5$ %, u ŠD 0/22 je $w = 2,5$ %). Z toho lze soudit, že takovýto rozdíl ve vlhkosti směsi při hutnění nemá na výsledný modul pružnosti E_r výrazný vliv.



Obrázek 13: Vzorek směsi MZK před cyklickou triaxiální zkouškou

Poslední nestmelenou směsí je R-materiál. Pro ten v TP 170 není stanovena požadovaná hodnota návrhového modulu pružnosti. Vzorky *a* a *b* byly z vyhodnocení vyřazeny. U vzorku *a* vycházely nesmyslné záporné hodnoty modulu pružnosti E_r , u vzorku *b* pak výsledné hodnoty výrazně převyšovaly očekávání. Také pracovní diagramy obou vzorků nemají očekávaný průběh. Pro vyhodnocení zbývá vzorek *c*, který dosáhl hodnot 250 – 350 MPa. Pro srovnání u mechanicky zpevněné zeminy MZ předpokládá TP 170 návrhový modul pružnosti $E = 150$ MPa. Vzhledem k povaze R-materiálu lze předpokládat, že se hodnota jeho modulu pružnosti E_r bude nacházet mezi hodnotami pro MZ a ŠD. Vzhledem k tomu, že u R-materiálu vyšel pouze jeden relevantní vzorek, je nutné tento výsledek považovat za neprůkazný a je otázkou, zda je zkoušení R-materiálu cyklickou triaxiální zkouškou vhodné.



Obrázek 14: Vzorek směsi R-materiál po cyklické triaxiální zkoušce

Tabulka 12: Výsledky cyklické triaxiální zkoušky stmelových směsí

Modul pružnosti E_r [MPa]			
7 dní			
	vzorek a	vzorek b	vzorek c
SC 0/16; $C_{6/8}$	299 - 416	314 - 402	483 - 656
SC 0/16; $C_{9/12}$	299 - 461	468 - 577	360 - 437
28 dní			
	vzorek d	vzorek e	vzorek f
SC 0/16; $C_{6/8}$	358 - 539	915 - 3812	461 - 622
SC 0/16; $C_{9/12}$	435 - 676	528 - 611	563 - 970

Zkoušení stmelových směsí cyklickou triaxiální zkouškou není normou ČSN EN 13286-7 definováno. Na výsledky je tedy nutné nahlížet pouze jako na orientační hodnoty. Zkoušky probíhaly na zkušebních tělesech po 7 a 28 dnech zrání. Pro směs SC 0/16; $C_{6/8}$ vycházejí 7denní hodnoty modulu pružnosti E_r v rozmezí cca 300 – 650 MPa a 28denní v rozmezí cca 360 – 620 MPa. Vzorek e byl z vyhodnocování vyřazen, protože jeho výsledné hodnoty se značně odlišují od hodnot ostatních vzorků a také průběh pracovního diagramu neodpovídá předpokládanému průběhu. Dalo by se předpokládat, že oproti 7denní sadě budou výsledky 28denní sady vyšší. Oproti očekávání jsou výsledky obou sad velice podobné. Návrhová hodnota modulu pružnosti není pro směs třídy pevnosti $C_{6/8}$ v TP 170 uvedena. Nejbližší nižší třída pevnosti uvedená v TP 170 je $C_{5/6}$, pro kterou je návrhový modul pružnosti $E = 2000$ MPa. Výsledky jsou výrazně nižší. Hodnoty by více odpovídaly štěrkodrti než stmelové směsi.

Pro směs SC 0/16; $C_{9/12}$ je situace téměř totožná. 7denní modul pružnosti E_r nabývá hodnot 300 – 580 MPa, výsledky jsou tedy velmi podobné, dokonce o něco nižší, než u směsi SC 0/16; $C_{6/8}$. 28denní modul pružnosti E_r pak nabývá hodnot cca 440 – 970 MPa. Zde jsou již hodnoty vyšší, než u směsi SC 0/16; $C_{6/8}$. Návrhová hodnota modulu pružnosti není pro směs třídy pevnosti $C_{9/12}$ v TP 170 uvedena. Nejvyšší třída pevnosti uvedená v TP 170 je $C_{8/10}$, pro kterou je návrhový modul pružnosti $E = 2500$ MPa. Naměřené moduly pružnosti E_r se návrhové hodnotě ani zdaleka neblíží. Navíc hodnoty 970 MPa dosahuje pouze jeden ze vzorků, a to pouze při jedné úrovni napětí. Ostatní hodnoty opět odpovídají více hodnotám pro štěrkodrtě či mechanicky zpevněné kamenivo. Ze své podstaty by měly

stmelené směsi daleko lépe odolávat pružnému přetvoření než směsi nestmelené. Z toho plyne závěr, že tato metoda zkoušení stmelených směsí není vhodná a nezobrazuje skutečné chování materiálu.

5. Závěr

V teoretické části práce byl stručně představen výzkum AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), který propojuje provádění vozovek s hodnotou zvanou modul pružnosti E_r . Namáhání jednotlivých vrstev vozovky je dynamické a proměnlivé a modul pružnosti E_r dobře vystihuje všesměrné namáhání působící v konstrukčních vrstvách vozovky při zatížení dopravou. Dále byly představeny hlavní faktory ovlivňující vznik deformací vozovky. Z výzkumu AASHTO vyplývá, že hlavní podíl na vznik deformací v podkladních vrstvách vozovek má zrnitost použitého materiálu, dále maximální velikost zrna, obsah jemných částic ve směsi a také zhutnitelnost a objemová hmotnost. Byly představeny běžně používané technologické postupy a materiály používané do podkladních vrstev vozovky.

Praktická část práce je zaměřená na zkoumání základních vlastností vybraných materiálů běžně používaných v podkladních vrstvách vozovek. Konkrétně se jedná o nestmelené směsi na bázi štěrku frakce 0/16 (směs s označením ŠD 0/16) a frakce 0/22 (směsi s označením ŠD 0/22 a MZK). Zkušebně byl mezi nestmelené směsi zařazen R-materiál, který se standardně do podkladních vrstev vozovek jako nestmelená vrstva nepoužívá. Ze stmelených směsí byly v práci zvoleny směsi kameniva stmeleného cementem, a to směs s obsahem 5 % a 10 % cementu.

Směsi byly míchány z jednotlivých úzkých frakcí kameniva a z fileru tak, aby se jejich křivka zrnitosti co nejvíce blížila Fullerově parabole. Takovýto průběh křivky zrnitosti nejlépe přispívá k optimálnímu roznosu zatížení ve vrstvě. Na směsích byla provedena modifikovaná Proctorova zkouška zhutnitelnosti pro určení maximální suché objemové hmotnosti a optimální vlhkosti směsí.

Na nestmelených směsích byla provedena zkouška kalifornského poměru únosnosti CBR a CBR_{sat} . Směsi ŠD 0/16, ŠD 0/22 a MZK dosáhly hodnot CBR i CBR_{sat} 100 %, což je hodnota vyhovující pro vrstvu MZK – mechanicky zpevněné kamenivo. Z tohoto hlediska se tedy jedná o velice kvalitní materiály. R-materiál dosáhl hodnot CBR = 13 % a CBR_{sat} = 19 %. Z hlediska statické únosnosti se tedy jedná o nepřilíš kvalitní materiál přibližně na úrovni vrstvy MZ – mechanicky zpevněná zemina, pro kterou je mezní hodnota CBR_{sat} = 20 %.

Na stmelených směsích byla pro jejich klasifikaci provedena zkouška pevnosti v tlaku R_c . 28denní pevnost v tlaku R_c směsi s 5 % hmotnosti cementu byla cca 8,2 MPa. Tato pevnost v tlaku dle ČSN EN 14227-1 odpovídá třídě pevnosti $C_{6/8}$. Směs s 5 % cementu tedy byla označena jako SC 0/16; $C_{6/8}$. 28denní pevnost v tlaku R_c směsi s 10 % cementu nemohla být z důvodu nedostatečně výkonného laboratorního lisu určena přímo. Zatřídění bylo dosaženo na základě předpokladu, že pro směsi stmelené cementem třídy CEM II 32,5 R a teplotu tuhnutí okolo 20 °C je 7denní pevnost je rovna přibližně 75 % 28denní pevnosti. 7denní pevnost v tlaku R_c směsi s 10 % cementu byla cca 9 MPa, z toho vyplývá 28denní pevnost v tlaku $R_c = 12$ MPa. Tato pevnost v tlaku odpovídá třídě pevnosti $C_{9/12}$. Směs s 10 % cementu byla tedy označena jako SC 0/16; $C_{9/12}$.

Cyklická triaxiální zkouška byla pro určení modulu pružnosti E_r provedena na všech směsích. Výsledné hodnoty modulu pružnosti E_r byly porovnány s návrhovými moduly pružnosti E z TP 170.

Směs ŠD 0/16 dosahuje v provedených laboratorních zkouškách hodnot modulů pružnosti E_r cca 200 – 350 MPa. Směs ŠD 0/22 dosahuje hodnot modulů pružnosti E_r cca 430 – 750 MPa. Návrhový modul pružnosti E z TP 170 pro vrstvu šterkodrtí, kterou mají tyto směsi reprezentovat, je $E = 400$ MPa. Rozdíl mezi směsmi je v maximální velikosti zrna, suché objemové hmotnosti (u ŠD 0/22 cca o 200 kg/m³ vyšší) a vlhkosti při hutnění. Z výsledků je zjevné, že maximální velikost zrna a objemová hmotnost kameniva má zásadní vliv na modul pružnosti E_r směsi. V tomto konkrétním případě způsobily tyto faktory více než dvojnásobný rozdíl. Při realizaci podkladní vrstvy typu šterkodrtí je tedy nutné pro aplikaci návrhového modulu pružnosti E do návrhu vozovky používat materiál s dostatečně vysokou maximální velikostí zrna, například běžně používaný šterk frakce 0/32. Dále je důležité kontrolovat objemovou hmotnost materiálu. V případě použití materiálů nižší kvality bych doporučil hodnotu modulu pružnosti E_r kontrolovat zkouškami, a pokud nedosáhne návrhové hodnoty, zohlednit tuto skutečnost v návrhu vozovky upravením vstupních parametrů ve výpočtu.

Směs MZK dosahuje hodnot modulů pružnosti E_r cca 420 – 800 MPa. Návrhový modul pružnosti E z TP 170 pro vrstvu MZK je $E = 600$ MPa. Takto navržená směs tedy není pro použití ve vrstvě MZK vyhovující (vyhověl pouze 1 vzorek ze 3). V práci byl použit šterk frakce 0/22. Standardně se pro vrstvu MZK používá kamenivo frakce 0/32, někdy až 0/45.

Bohužel takovýto materiál není možné v podmínkách běžné laboratoře cyklické triaxiální zkoušce podrobit z důvodu omezení maximální velikosti zrna. Je tedy otázkou, zda by zvýšení maximální velikosti zrna vedlo k navýšení modulu pružnosti E_r na vyhovující hodnotu. Z výsledků je však možné předpokládat, že při důsledném dodržování podmínek pro zhotovení vrstvy MZK je reálné, aby modul pružnosti E_r použitého materiálu dosáhl návrhové hodnoty z TP 170.

Modul pružnosti E_r R-materiálu se podařil naměřit pouze na 1 ze 3 zkušebních vzorků. Další 2 vzorky vykazovaly nesmyslné hodnoty a jejich pracovní diagramy se výrazně lišily od očekávaného průběhu. Z toho lze usoudit, že cyklická triaxiální zkouška není pro měření modulu pružnosti E_r R-materiálu vhodná. Naměřenou hodnotu modulu pružnosti E_r cca 250 – 350 MPa je nutné považovat za neprůkaznou. Návrhový modul pružnosti E není pro R-materiál v TP 170 stanoven.

Směs SC 0/16; $C_{6/8}$ dosahuje 28denních hodnot modulů pružnosti E_r cca 360 – 620 MPa. Návrhová hodnota modulu pružnosti není pro směs třídy pevnosti $C_{6/8}$ v TP 170 uvedena. Nejbližší nižší třída pevnosti uvedená v TP 170 je $C_{5/6}$, pro kterou je návrhový modul pružnosti $E = 2000$ MPa. Naměřené hodnoty jsou tedy výrazně nižší. Směs SC 0/16; $C_{9/12}$ dosahuje 28denních hodnot modulů pružnosti E_r cca 440 – 970 MPa. Návrhová hodnota modulu pružnosti není pro směs třídy pevnosti $C_{9/12}$ v TP 170 uvedena. Nejvyšší třída pevnosti uvedená v TP 170 je $C_{8/10}$, pro kterou je návrhový modul pružnosti $E = 2500$ MPa. I v tomto případě jsou naměřené hodnoty modulu pružnosti E_r mnohem nižší než návrhová hodnota. Vzhledem k výsledkům a faktu, že zkoušení směsí stmelých cementem cyklickou triaxiální zkouškou není normou ČSN EN 13286-7 definováno, lze předpokládat, že použití cyklické triaxiální zkoušky k měření modulu pružnosti E_r směsí stmelých cementem není vhodné.

V práci byly testovány směsi reprezentující běžně používané druhy podkladních vrstev vozovek. Z výsledků měření vyplývá, že v případě dodržení předepsané kvality vstupních materiálů a technologických postupů je u nestmelých směsí dosažení návrhových hodnot modulů pružnosti E z TP 170 reálné. Pro hospodárný návrh vozovky je ale vhodné modul pružnosti E_r vstupního materiálu ověřit cyklickou triaxiální zkouškou a zohlednit ve výpočtu návrhu vozovky jeho reálnou hodnotu. Pro ověření modulu pružnosti E_r stmelých směsí je pak nutné použít jiný zkušební postup než cyklickou triaxiální zkoušku.

6. Seznam použitých zdrojů

- [1] BUREŠ, Petr, Denisa CIHLÁŘOVÁ, Vladimíra PCHÁLKOVÁ, Miloslav ŘEZÁČ a Tomáš SEIDLER. *Pozemní komunikace-navrhování a stavba* [online]. 1. Ostrava: FAST VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2013 [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: http://www.stavebniinzenyrstvi.cz/wp-content/uploads/2014/09/PK_navrhovani_a_stavba.pdf
- [2] SAĞLIK, Ahmet a A.Gurkan GUNGOR. RESILIENT MODULUS OF UNBOUND AND BITUMINOUS BOUND ROAD MATERIALS. In: *5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, 13-15th June 2012* [online]. Istanbul, 2012 [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=628> (překlad autora)
- [3] KORKIALA-TANTTU, Leena. *Calculation method for permanent deformation of unbound pavement materials* [online]. Helsinki University of Technology, 2008 [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2008/p702.pdf>. Disertační práce. (překlad autora)
- [4] 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. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [5] ČSN EN 933-1, Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [6] MOHYLA, Marek. KALIFORNSKÝ POMĚR ÚNOSNOSTI. In: *SILNIČNÍ A GEOTECHNICKÁ LABORATOŘ podklady do cvičení* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/kalifornsky-pomer-unosnosti.pdf>
- [7] ČSN EN 13286-4, Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 4: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Vibrační pěch. Praha: Český normalizační institut, 2004.

- [8] ČSN EN 13286-1, Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 1: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Úvod, všeobecné požadavky a odběr vzorků. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [9] PRAKTICKÉ APLIKACE V POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH: MODUL 07 NESTMELENÉ PODKLADNÍ VRSTVY [online]. 1. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ, 2006 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: [http://lences.cz/skola/subory/-%20-%20PREDMETY%20%20\(semester%201%20-%2010\)%20-%20-/6-semester/-%20BM02%20-%20Pozemni%20komunikace%20II/Prednasky/T%C3%A9ma%203%20text%20-%20Nestmelen%C3%A9%20podkladn%C3%AD%20vrstvy.pdf](http://lences.cz/skola/subory/-%20-%20PREDMETY%20%20(semester%201%20-%2010)%20-%20-/6-semester/-%20BM02%20-%20Pozemni%20komunikace%20II/Prednasky/T%C3%A9ma%203%20text%20-%20Nestmelen%C3%A9%20podkladn%C3%AD%20vrstvy.pdf)
- [10] ČSN EN 14227-1. *Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 1: Směsi z kameniva stmelené cementem*. 1. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2013.
- [11] ČSN EN 13286-41. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy: Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy*. 1. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2004.
- [12] ČSN EN 13286-7. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy: Část 7: Zkouška nestmelených směsí cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji*. 1. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005.
- [13] TP 170. *Navrhování vozovek pozemních komunikací - dodatek: TECHNICKÉ PODMÍNKY*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010.
- [14] *STAVBA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ* [online]. In: . Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, 2006 [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/krajcovic/!kombinovane/!dopravni_a_vodni_stavby/pomucky_k_reseni/pdf/STAVBA_PK_KOMBI.pdf
- [15] *PODKLADNÍ VRSTVY A NAVRHOVÁNÍ VOZOVEK: Realizace staveb pozemních komunikací* [online]. In: KUDRNA, Jan. Brno, 2011 [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <http://www.vzdelavanimke kvalite.cz/PDFs/Podkladn%C3%AD%20vrstvy.pdf>

7. Seznam obrázků

Obrázek 1: Sada sít pro stanovení zrnitosti	19
Obrázek 2: Modifikovaná Proctorova zkouška	21
Obrázek 3: Zkouška CBR	23
Obrázek 4: Zkouška pevnosti v tlaku R_c	24
Obrázek 5: Cyklická triaxiální zkouška	25
Obrázek 6: Štěrk frakce 0/16	28
Obrázek 7: R-materiál frakce 0/22	30
Obrázek 8: Nevydařená zkouška zhutnitelnosti štěrku 0/16 pro $w = 11\%$	33
Obrázek 9: Vzorek směsi ŠD 0/22 po zkoušce CBR	38
Obrázek 10: Vzorek směsi SC 0/16; $C_{6/8}$ před a po zkoušce pevnosti v tlaku R_c	41
Obrázek 11: Nevydařené vzorky směsi ŠD 0/16 při cyklické triaxiální zkoušce	44
Obrázek 12: Vzorek směsi ŠD 0/16 po cyklické triaxiální zkoušce	47
Obrázek 13: Vzorek směsi MZK před cyklickou triaxiální zkouškou	48
Obrázek 14: Vzorek směsi R-materiál po cyklické triaxiální zkoušce	49

8. Seznam grafů

Graf 1: Sítový rozbor štěrku frakce 0/16	28
Graf 2: Sítový rozbor štěrku frakce 0/22	29
Graf 3: Sítový rozbor R-materiálu	30
Graf 4: Sítový rozbor materiálu pro stmelené směsi	31
Graf 5: Zhutnitelnost štěrku 0/16	32
Graf 6: Zhutnitelnost štěrku 0/22	33
Graf 7: Zhutnitelnost R-materiálu	34
Graf 8: Zhutnitelnost stmeleného kameniva s 5 % cementu	35
Graf 9: Zhutnitelnost stmeleného kameniva s 10 % cementu	35
Graf 10: Pevnost v tlaku R_c stmeleného kameniva s 5 % cementu 7denní	39
Graf 11: Pevnost v tlaku R_c stmeleného kameniva s 5 % cementu 28denní	40
Graf 12: Pevnost v tlaku R_c stmeleného kameniva s 10 % cementu 7denní	41
Graf 13: Pevnost v tlaku R_c stmeleného kameniva s 10 % cementu 28denní	42
Graf 14: Zkouška CBR směsi ŠD 0/16	64
Graf 15: Zkouška CBR_{sat} směsi ŠD 0/16	64
Graf 16: Zkouška CBR směsi ŠD 0/22	65
Graf 17: Zkouška CBR_{sat} směsi ŠD 0/22	65
Graf 18: Zkouška CBR směsi MZK	66
Graf 19: Zkouška CBR_{sat} směsi MZK	66
Graf 20: Zkouška CBR směsi R-materiál	67
Graf 21: Zkouška CBR_{sat} směsi R-materiál	67
Graf 22: Pracovní diagram vzorku ŠD 0/16_a	69
Graf 23: Moduly pružnosti E_r vzorku ŠD 0/16_a	69
Graf 24: Pracovní diagram vzorku ŠD 0/16_b	71
Graf 25: Moduly pružnosti E_r vzorku ŠD 0/16_b	71
Graf 26: Pracovní diagram vzorku ŠD 0/16_c	73
Graf 27: Moduly pružnosti E_r vzorku ŠD 0/16_c	73
Graf 28: Pracovní diagram vzorku ŠD 0/22_a	75
Graf 29: Moduly pružnosti E_r vzorku ŠD 0/22_a	75
Graf 30: Pracovní diagram vzorku ŠD 0/22_b	77

Graf 31: Moduly pružnosti E_r vzorku ŠD 0/22_b	77
Graf 32: Pracovní diagram vzorku ŠD 0/22_c	79
Graf 33: Moduly pružnosti E_r vzorku ŠD 0/22_c	79
Graf 34: Pracovní diagram vzorku MZK_a	81
Graf 35: Moduly pružnosti E_r vzorku MZK_a	81
Graf 36: Pracovní diagram vzorku MZK_b	83
Graf 37: Moduly pružnosti E_r vzorku MZK_b	83
Graf 38: Pracovní diagram vzorku MZK_c	85
Graf 39: Moduly pružnosti E_r vzorku MZK_c	85
Graf 40: Pracovní diagram vzorku R-materiál_a	87
Graf 41: Moduly pružnosti E_r vzorku R-materiál_a	87
Graf 42: Pracovní diagram vzorku R-materiál_b	89
Graf 43: Moduly pružnosti E_r vzorku R-materiál_b	89
Graf 44: Pracovní diagram vzorku R-materiál_c	91
Graf 45: Moduly pružnosti E_r vzorku R-materiál_c	91
Graf 46: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C _{6/8} _a	93
Graf 47: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C _{6/8} _a	93
Graf 48: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C _{6/8} _b	95
Graf 49: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C _{6/8} _b	95
Graf 50: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C _{6/8} _c	97
Graf 51: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C _{6/8} _c	97
Graf 52: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C _{6/8} _d	99
Graf 53: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C _{6/8} _d	99
Graf 54: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C _{6/8} _e	101
Graf 55: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C _{6/8} _e	101
Graf 56: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C _{6/8} _f	103
Graf 57: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C _{6/8} _f	103
Graf 58: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C _{9/12} _a	105
Graf 59: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C _{9/12} _a	105
Graf 60: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C _{9/12} _b	107
Graf 61: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C _{9/12} _b	107
Graf 62: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C _{9/12} _c	109

Graf 63: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; $C_{9/12_c}$	109
Graf 64: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; $C_{9/12_d}$	111
Graf 65: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; $C_{9/12_d}$	111
Graf 66: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; $C_{9/12_e}$	113
Graf 67: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; $C_{9/12_e}$	113
Graf 68: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; $C_{9/12_f}$	115
Graf 69: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; $C_{9/12_f}$	115

9. Seznam tabulek

Tabulka 1: Poměr míchání štěrku frakce 0/16	29
Tabulka 2: Poměr míchání štěrku frakce 0/22	29
Tabulka 3: Poměr míchání kameniva pro stmelené směsi	31
Tabulka 4: Výsledky zkoušky zhutnitelnosti	36
Tabulka 5: Výsledky zkoušky CBR	37
Tabulka 6: Výsledky zkoušky CBR _{sat}	38
Tabulka 7: Výsledky pevnosti v tlaku R _c směsi s 5 % cementu	40
Tabulka 8: Výsledky pevnosti v tlaku R _c směsi s 10 % cementu	42
Tabulka 9: Předepsané hodnoty komorového tlaku a deviátoru napětí cyklické triaxiální zkoušky, metoda B – úroveň nízkého napětí.....	45
Tabulka 10: Návrhový modul pružnosti E vybraných materiálů dle TP 170.....	46
Tabulka 11: Výsledky cyklické triaxiální zkoušky nestmelených směsí	46
Tabulka 12: Výsledky cyklické triaxiální zkoušky stmelených směsí	50
Tabulka 13: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku ŠD 0/16_a	68
Tabulka 14: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku ŠD 0/16_b	70
Tabulka 15: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku ŠD 0/16_c.....	72
Tabulka 16: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku ŠD 0/22_a	74
Tabulka 17: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku ŠD 0/22_b	76
Tabulka 18: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku ŠD 0/22_c.....	78
Tabulka 19: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku MZK_a.....	80
Tabulka 20: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku MZK_b.....	82
Tabulka 21: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku MZK_c.....	84
Tabulka 22: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku R-materiál_a	86
Tabulka 23: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku R-materiál_b	88
Tabulka 24: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku R-materiál_c	90
Tabulka 25: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C _{6/8} _a.....	92
Tabulka 26: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C _{6/8} _b.....	94
Tabulka 27: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C _{6/8} _c.....	96
Tabulka 28: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C _{6/8} _d.....	98
Tabulka 29: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C _{6/8} _e.....	100

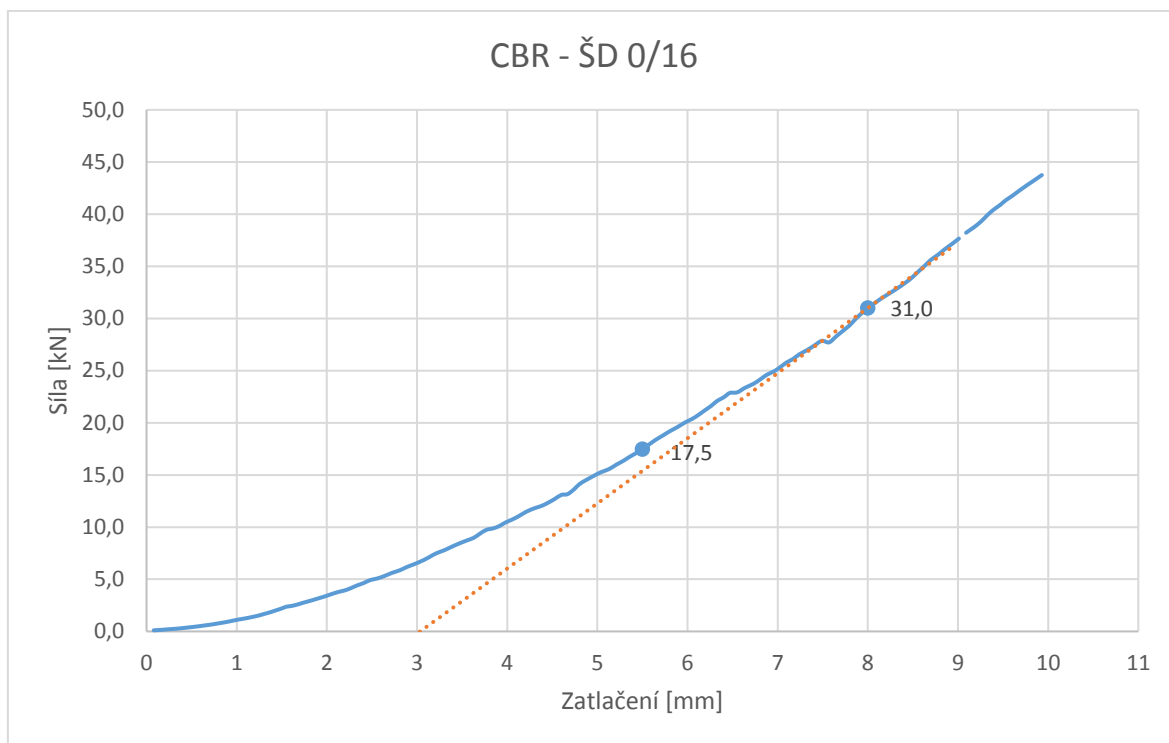
Tabulka 30: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C _{6/8} _f	102
Tabulka 31: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C _{9/12} _a	104
Tabulka 32: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C _{9/12} _b	106
Tabulka 33: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C _{9/12} _c.....	108
Tabulka 34: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C _{9/12} _d	110
Tabulka 35: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C _{9/12} _e	112
Tabulka 36: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C _{9/12} _f	114

10. Seznam vztahů

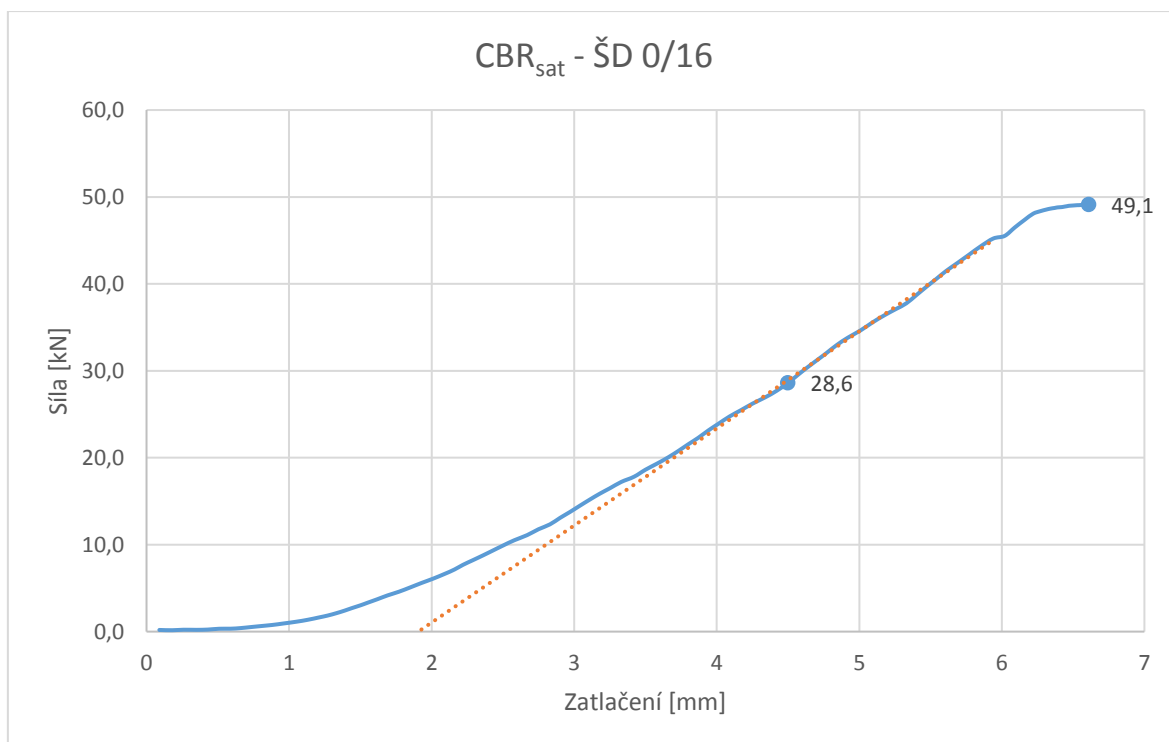
Vztah 1: Výpočet modulu pružnosti E_r	14
Vztah 2: Výpočet objemové hmotnosti zhutněného materiálu	21
Vztah 3: Výpočet vlhkosti zhutněného materiálu	21
Vztah 4: Výpočet suché objemové hmotnosti zhutněného materiálu	22
Vztah 5: Výpočet Kalifornského poměru únosnosti CBR.....	22
Vztah 6: Výpočet pevnosti v tlaku R_c	24

Příloha A – Přehled zkoušky CBR

Označení směsi: **ŠD 0/16**

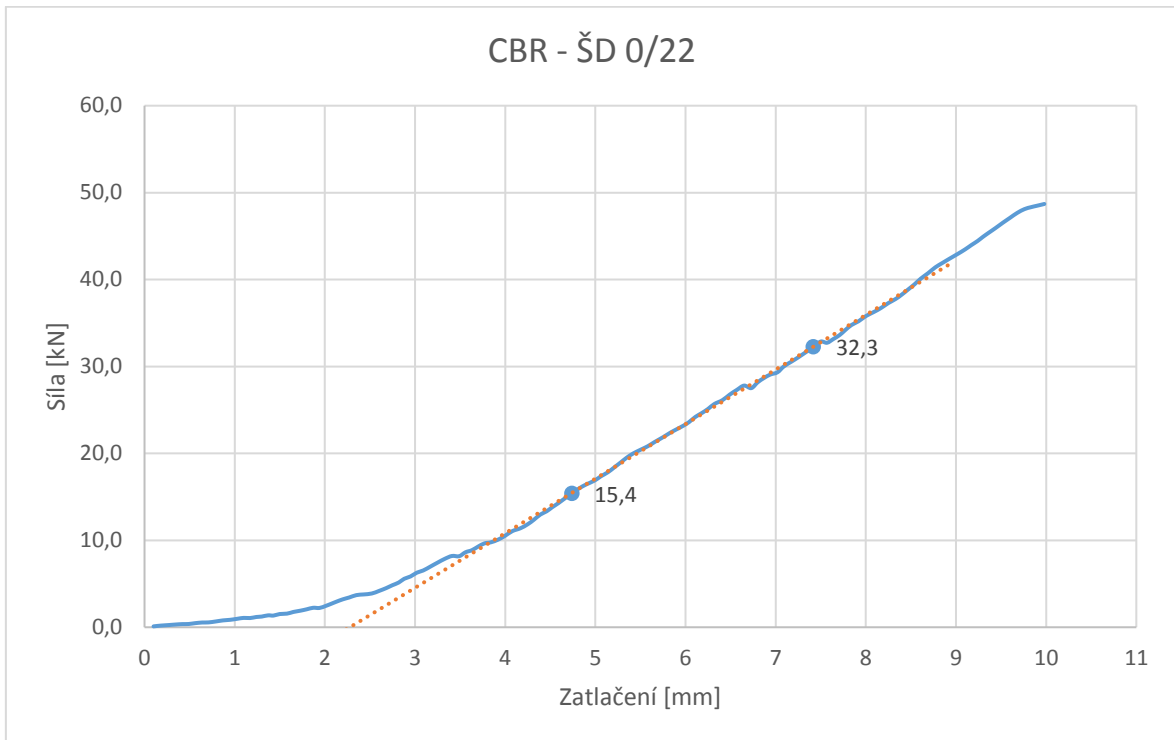


Graf 14: Zkouška CBR směsi ŠD 0/16

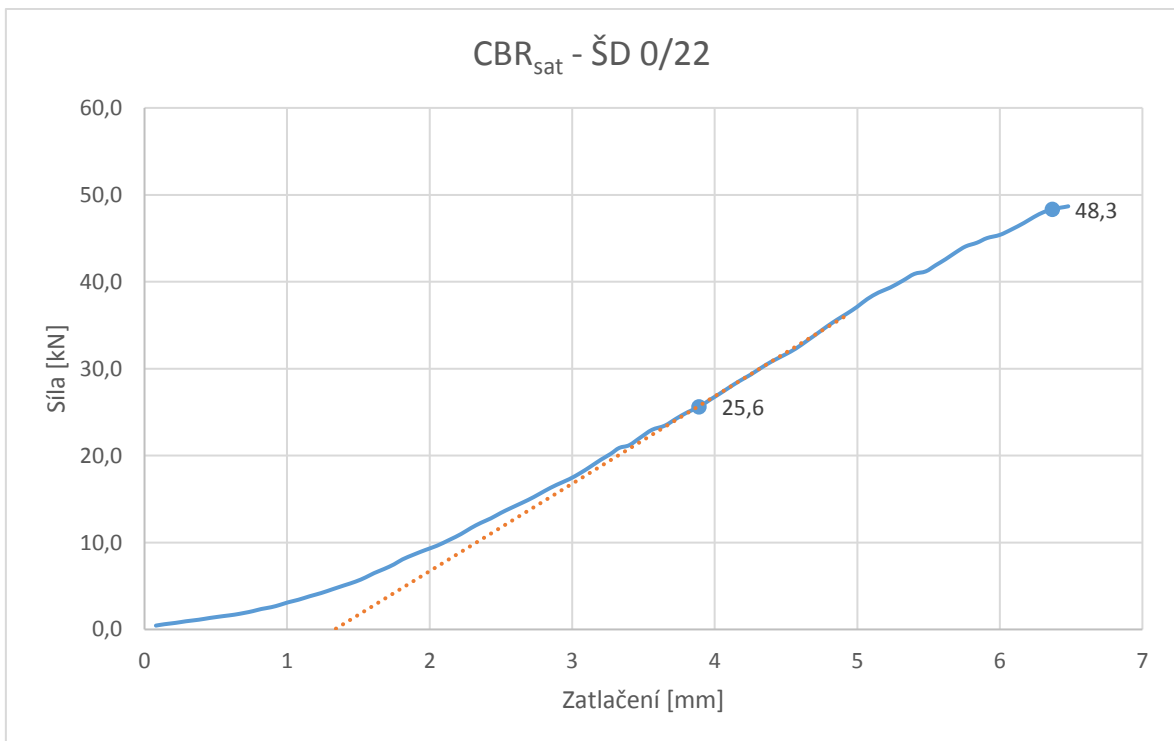


Graf 15: Zkouška CBR_{sat} směsi ŠD 0/16

Označení směsi: ŠD 0/22

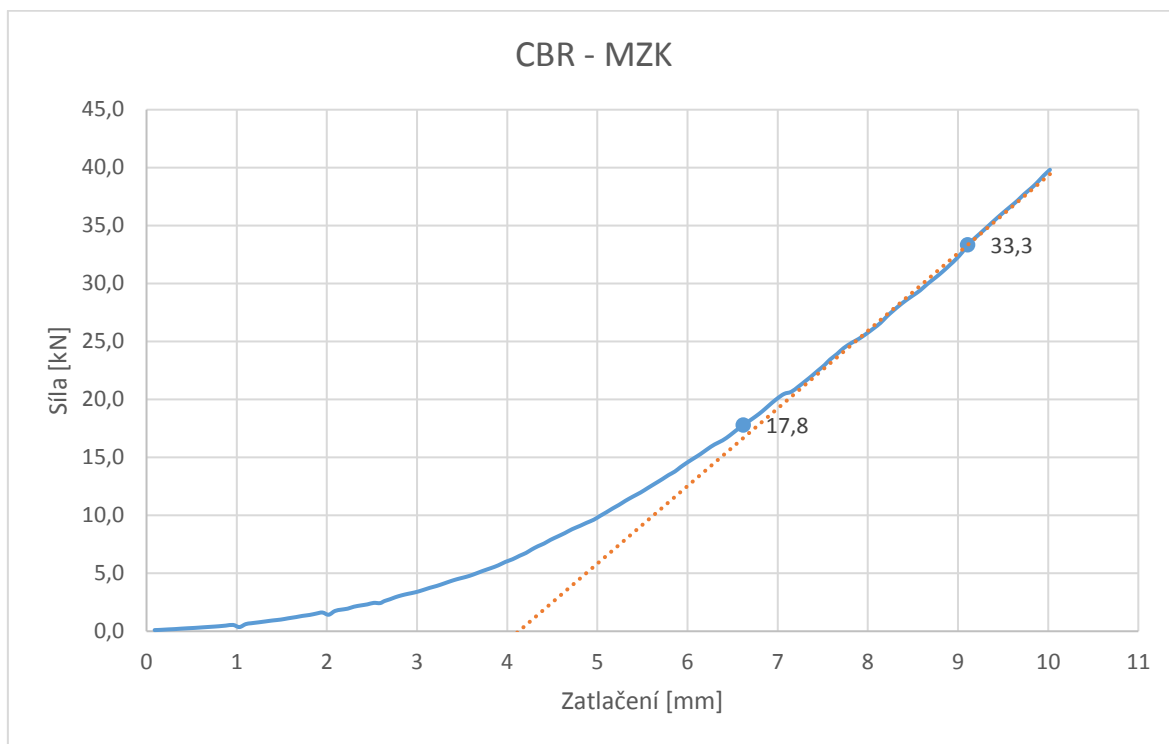


Graf 16: Zkouška CBR směsi ŠD 0/22

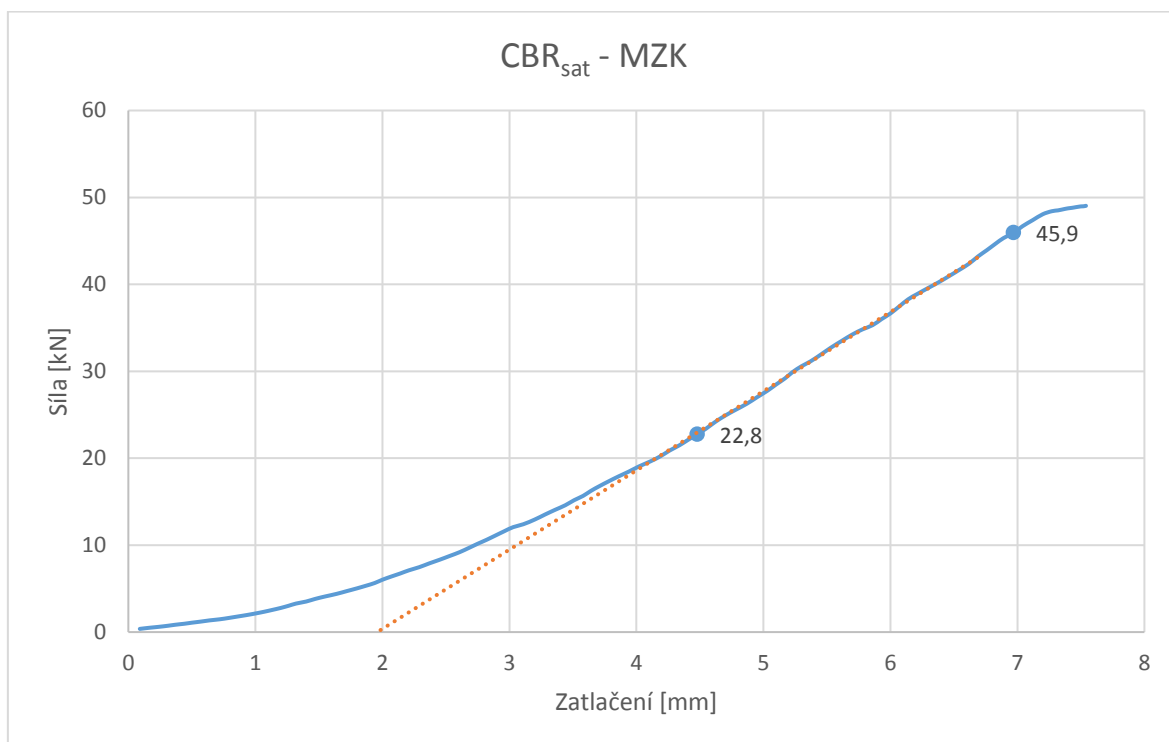


Graf 17: Zkouška CBR_{sat} směsi ŠD 0/22

Označení směsi: **MZK**

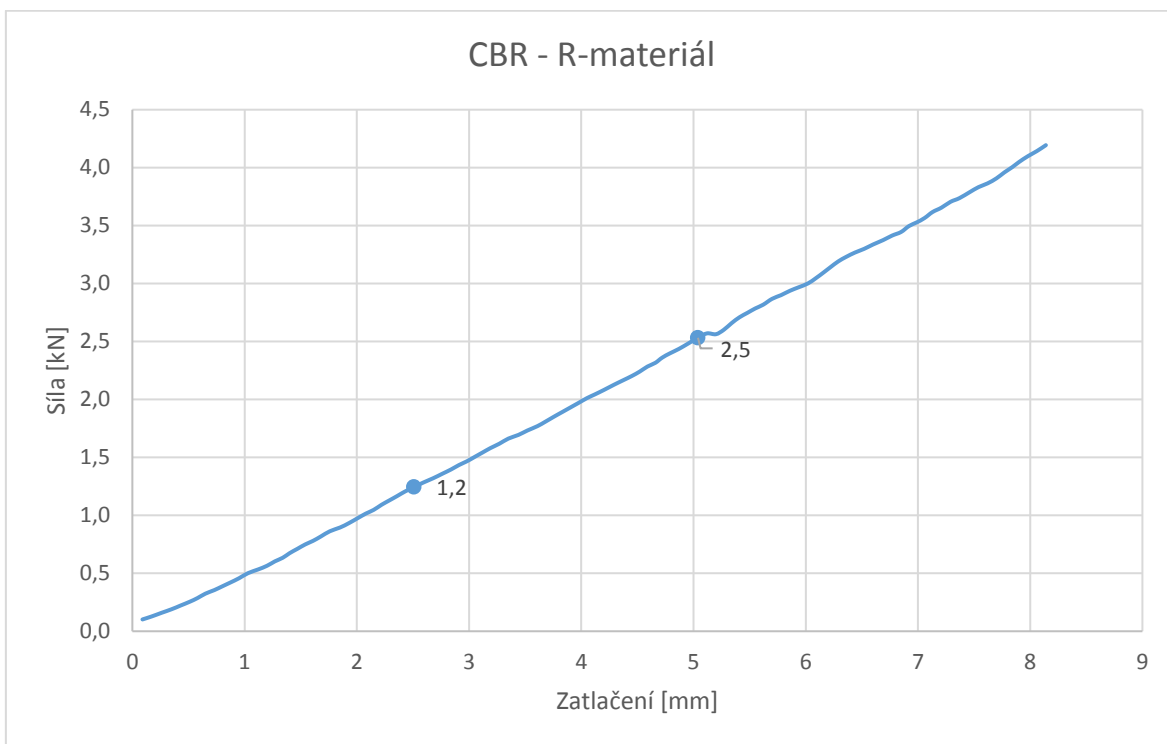


Graf 18: Zkouška CBR směsi MZK

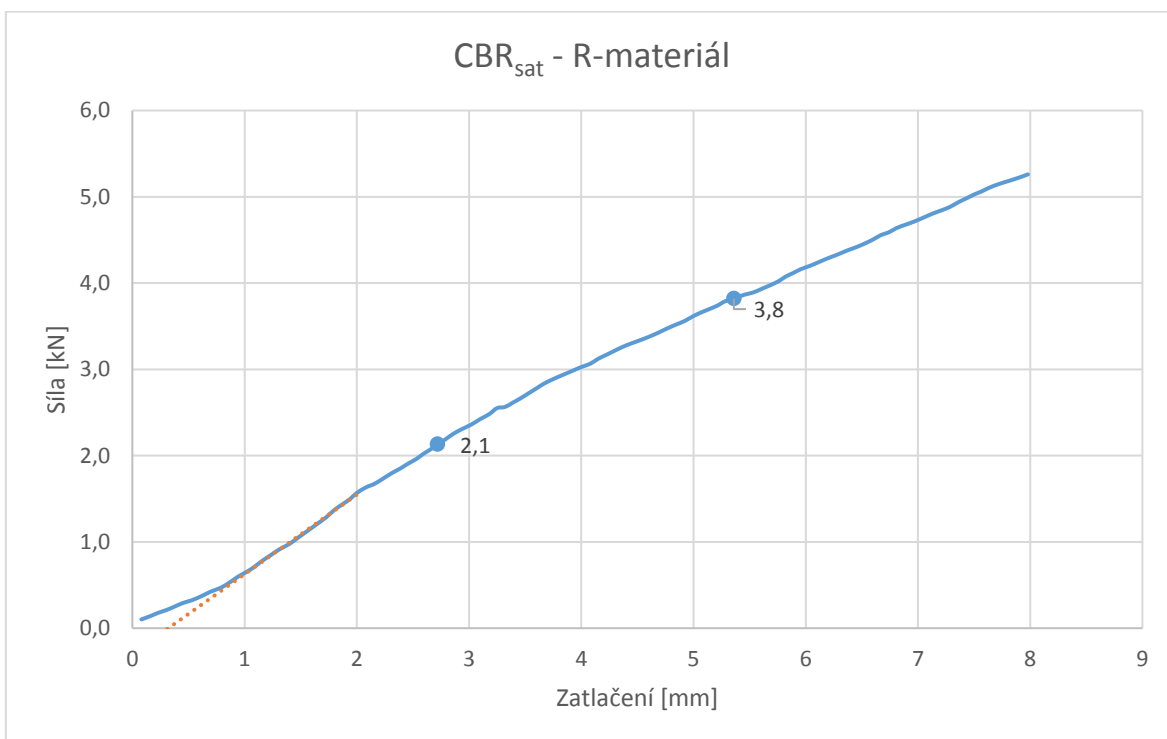


Graf 19: Zkouška CBR_{sat} směsi MZK

Označení směsi: **R-materiál**



Graf 20: Zkouška CBR směsi R-materiál



Graf 21: Zkouška CBR_{sat} směsi R-materiál

Příloha B – Podrobné výsledky cyklické triaxiální zkoušky

Označení směsi: **ŠD 0/16**

Označení vzorku: ŠD 0/16_a

Výška vzorku: 198 mm

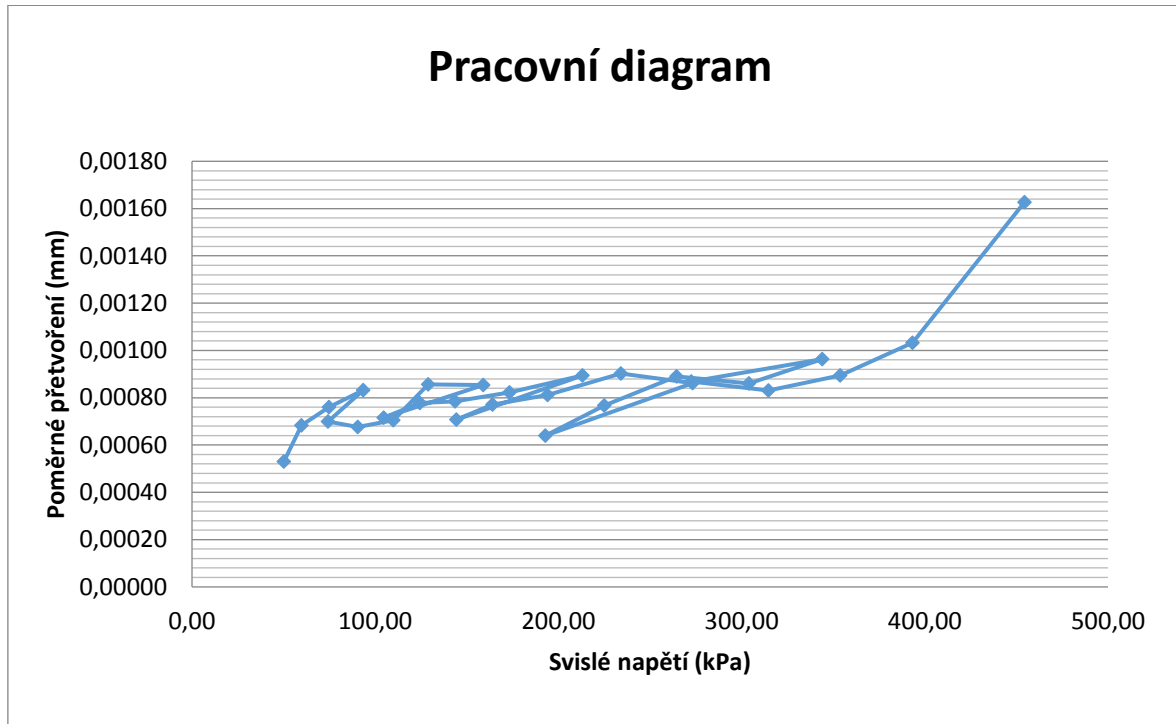
Tabulka 13: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku ŠD 0/16_a

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	24,59	25,54	50,13	0,00053	94,65
20	35	55	19,70	40,03	59,73	0,00068	87,49
20	50	70	19,96	54,76	74,71	0,00076	98,28
20	70	90	20,01	73,47	93,48	0,00083	112,38
35	35	70	34,23	40,00	74,23	0,00070	106,23
35	50	85	35,10	55,39	90,49	0,00068	133,74
35	70	105	35,31	74,53	109,84	0,00070	155,93
35	90	125	34,81	94,04	128,85	0,00086	150,43
35	120	155	35,05	123,89	158,95	0,00085	186,09
50	50	100	49,61	55,03	104,64	0,00072	146,18
50	70	120	49,90	74,54	124,44	0,00078	160,09
50	90	140	50,21	93,33	143,54	0,00078	183,08
50	120	170	49,91	123,48	173,39	0,00082	210,84
50	160	210	50,02	163,05	213,08	0,00089	238,28
70	70	140	69,46	74,81	144,27	0,00071	203,74
70	90	160	70,10	93,93	164,03	0,00077	212,81
70	120	190	69,95	124,18	194,13	0,00081	239,12
70	160	230	70,08	163,96	234,03	0,00090	259,51
70	200	270	70,29	203,01	273,29	0,00086	316,91
100	90	190	98,91	93,90	192,81	0,00064	301,42
100	120	220	100,10	125,01	225,11	0,00077	293,23
100	160	260	100,11	164,38	264,49	0,00089	296,99
100	200	300	100,03	203,92	303,95	0,00086	353,09
100	240	340	100,21	243,81	344,01	0,00096	356,97
150	120	270	148,49	124,11	272,60	0,00087	313,66
150	160	310	150,21	164,39	314,60	0,00083	378,45
150	200	350	150,13	203,67	353,80	0,00089	395,90
150	240	390	149,83	243,52	393,34	0,00103	380,78
150	300	450	151,58	302,85	454,43	0,00163	279,32

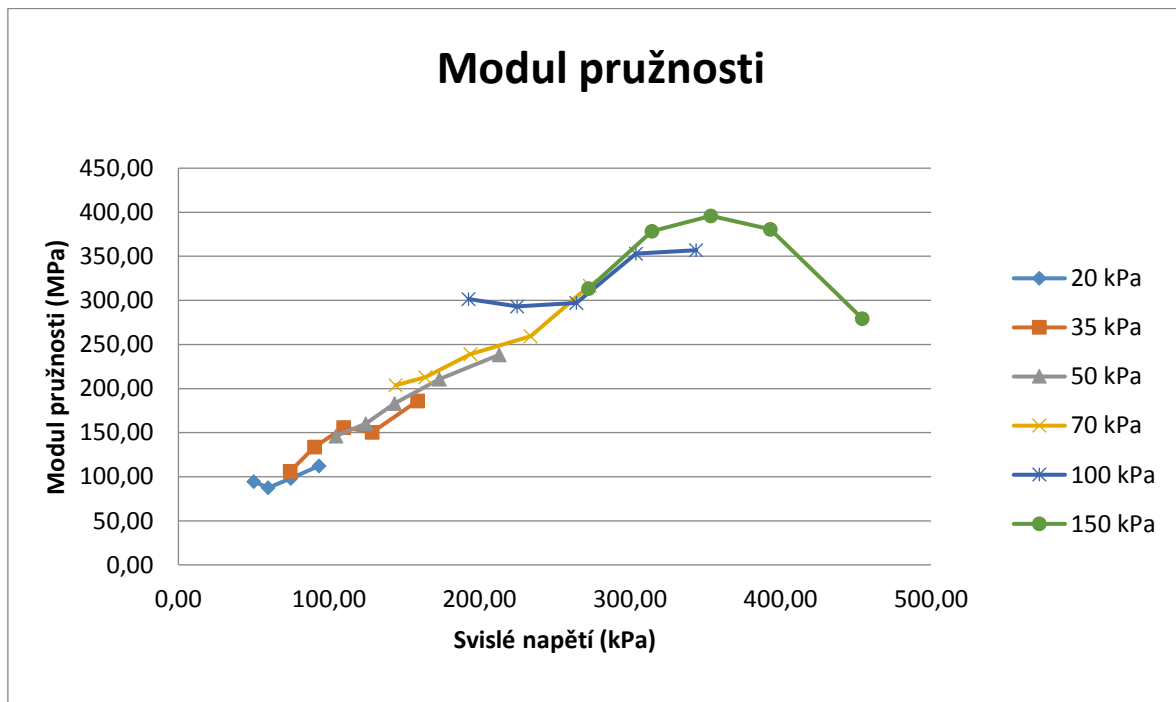
Označení směsi: ŠD 0/16

Označení vzorku: ŠD 0/16_a

Výška vzorku: 198 mm



Graf 22: Pracovní diagram vzorku ŠD 0/16_a



Graf 23: Moduly pružnosti E_r vzorku ŠD 0/16_a

Označení směsi: ŠD 0/16

Označení vzorku: ŠD 0/16_b

Výška vzorku: 197 mm

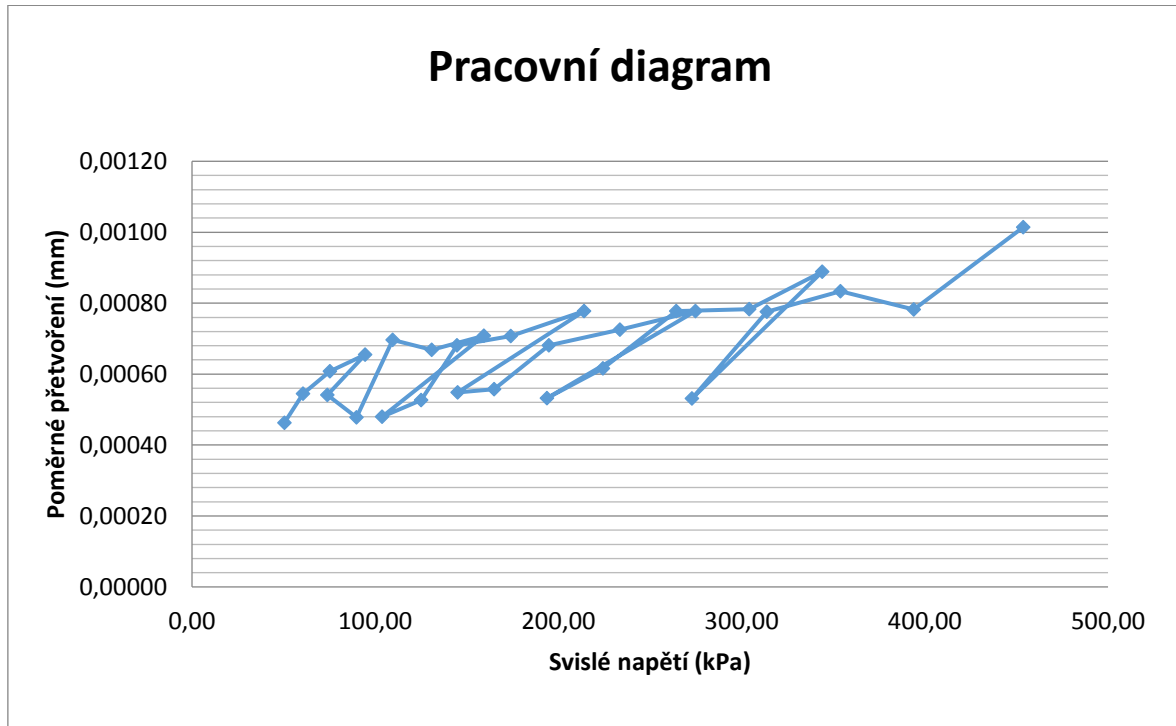
Tabulka 14: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku ŠD 0/16_b

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	24,04	26,39	50,43	0,00046	109,00
20	35	55	20,02	40,64	60,65	0,00054	111,38
20	50	70	20,41	54,97	75,38	0,00061	123,91
20	70	90	20,08	74,44	94,52	0,00066	144,27
35	35	70	34,23	39,74	73,97	0,00054	136,62
35	50	85	35,12	54,67	89,79	0,00048	188,03
35	70	105	34,71	74,92	109,63	0,00070	157,46
35	90	125	35,42	95,41	130,83	0,00067	195,71
35	120	155	35,05	124,28	159,34	0,00071	225,02
50	50	100	49,12	54,68	103,79	0,00048	216,30
50	70	120	50,32	74,86	125,18	0,00053	237,56
50	90	140	50,15	94,49	144,64	0,00068	212,35
50	120	170	49,97	123,97	173,94	0,00071	246,10
50	160	210	49,93	164,04	213,98	0,00078	275,06
70	70	140	69,45	75,52	144,97	0,00055	264,46
70	90	160	70,08	94,86	164,94	0,00056	295,92
70	120	190	70,36	124,40	194,76	0,00068	285,97
70	160	230	69,78	163,73	233,51	0,00072	322,16
70	200	270	70,35	204,51	274,86	0,00078	353,43
100	90	190	99,13	94,65	193,78	0,00053	363,87
100	120	220	99,96	124,43	224,38	0,00062	363,97
100	160	260	100,25	164,02	264,27	0,00078	339,69
100	200	300	100,10	204,15	304,25	0,00078	388,62
100	240	340	99,89	244,10	343,99	0,00089	387,13
150	120	270	148,87	124,11	272,98	0,00053	513,89
150	160	310	149,98	163,85	313,83	0,00078	404,47
150	200	350	150,35	203,66	354,01	0,00083	424,52
150	240	390	150,13	243,89	394,02	0,00078	503,55
150	300	450	150,09	303,67	453,76	0,00101	447,39

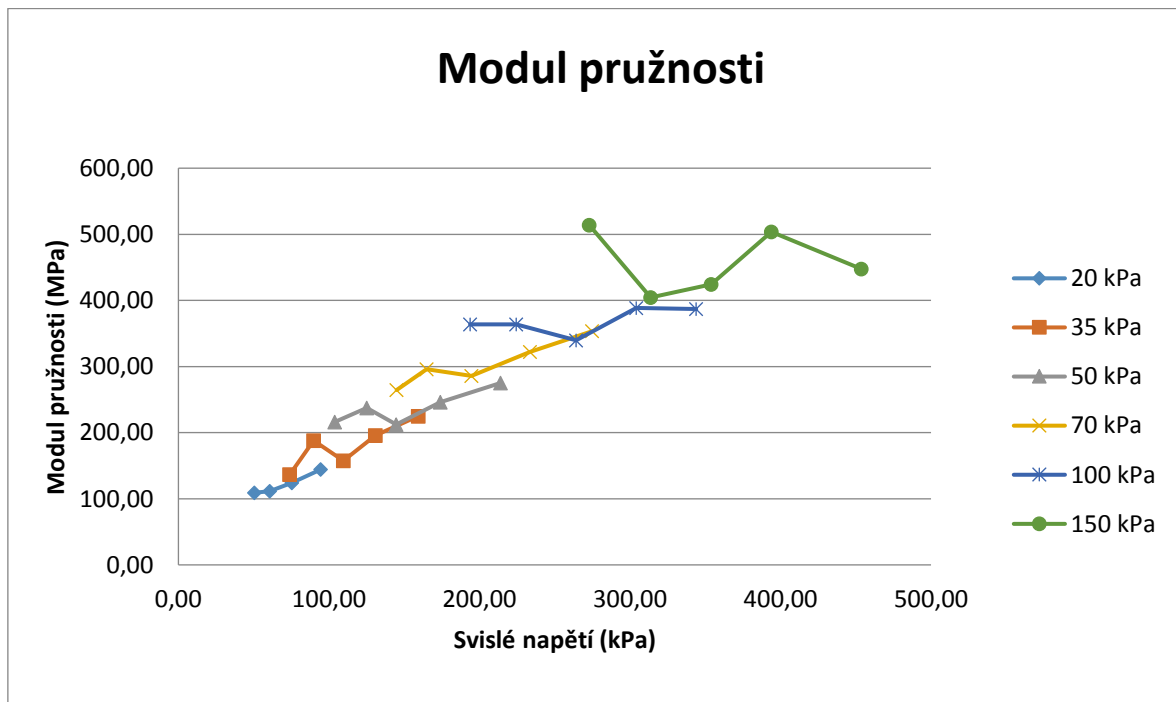
Označení směsi: ŠD 0/16

Označení vzorku: ŠD 0/16_b

Výška vzorku: 198 mm



Graf 24: Pracovní diagram vzorku ŠD 0/16_b



Graf 25: Moduly pružnosti E_r vzorku ŠD 0/16_b

Označení směsi: ŠD 0/16

Označení vzorku: ŠD 0/16_c

Výška vzorku: 201 mm

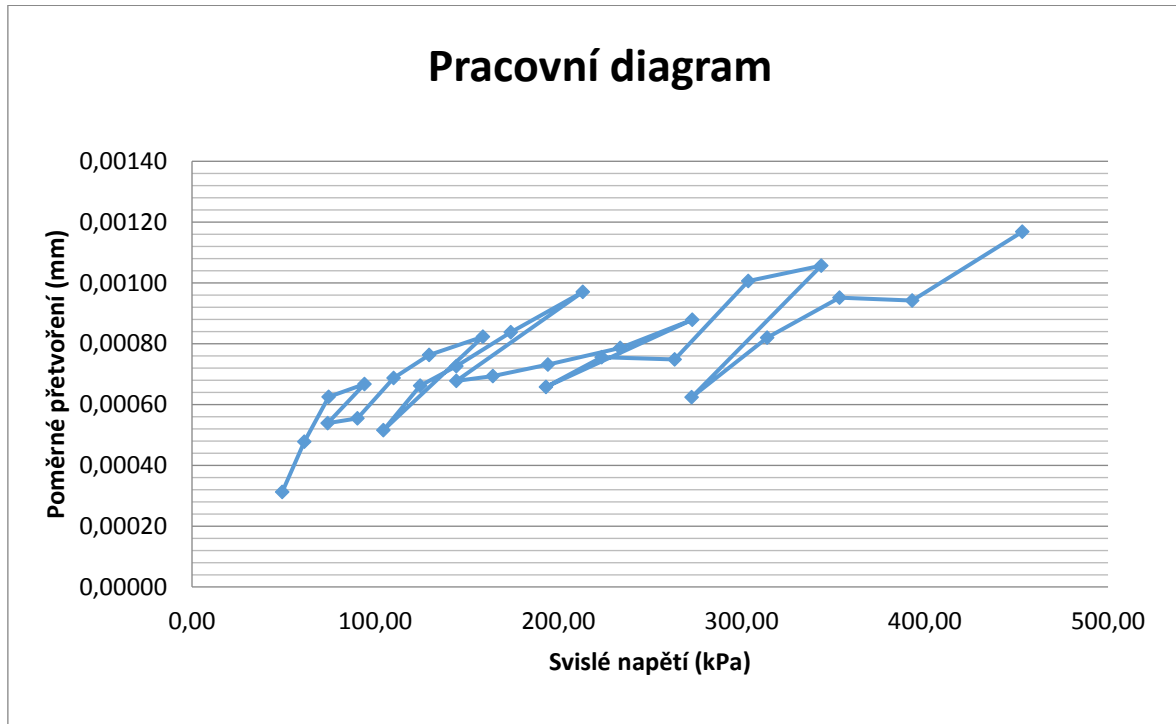
Tabulka 15: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku ŠD 0/16_c

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	23,98	25,31	49,30	0,00031	157,65
20	35	55	20,16	41,10	61,25	0,00048	128,19
20	50	70	20,04	54,56	74,60	0,00062	119,45
20	70	90	19,97	74,21	94,18	0,00067	141,07
35	35	70	34,17	39,94	74,10	0,00054	137,65
35	50	85	35,31	54,99	90,30	0,00055	162,72
35	70	105	34,82	75,25	110,07	0,00069	160,24
35	90	125	35,07	94,44	129,50	0,00076	169,79
35	120	155	35,15	123,74	158,88	0,00082	193,08
50	50	100	49,62	54,85	104,47	0,00052	202,79
50	70	120	49,90	74,61	124,51	0,00066	188,12
50	90	140	50,12	94,22	144,34	0,00073	198,93
50	120	170	50,03	123,97	174,00	0,00084	207,68
50	160	210	49,97	163,28	213,25	0,00097	219,86
70	70	140	69,46	74,89	144,35	0,00068	213,04
70	90	160	70,23	94,00	164,23	0,00069	236,93
70	120	190	69,92	124,29	194,22	0,00073	265,71
70	160	230	70,32	163,47	233,79	0,00079	297,41
70	200	270	69,86	203,15	273,01	0,00088	310,82
100	90	190	99,27	93,94	193,20	0,00066	293,74
100	120	220	100,05	123,58	223,62	0,00076	295,82
100	160	260	100,10	163,39	263,50	0,00075	352,22
100	200	300	100,27	203,32	303,59	0,00101	301,75
100	240	340	99,99	243,54	343,53	0,00106	325,22
150	120	270	148,77	123,96	272,73	0,00062	437,08
150	160	310	150,22	163,79	314,01	0,00082	382,90
150	200	350	150,12	203,37	353,49	0,00095	371,71
150	240	390	150,02	243,14	393,16	0,00094	417,22
150	300	450	149,93	303,28	453,21	0,00117	387,97

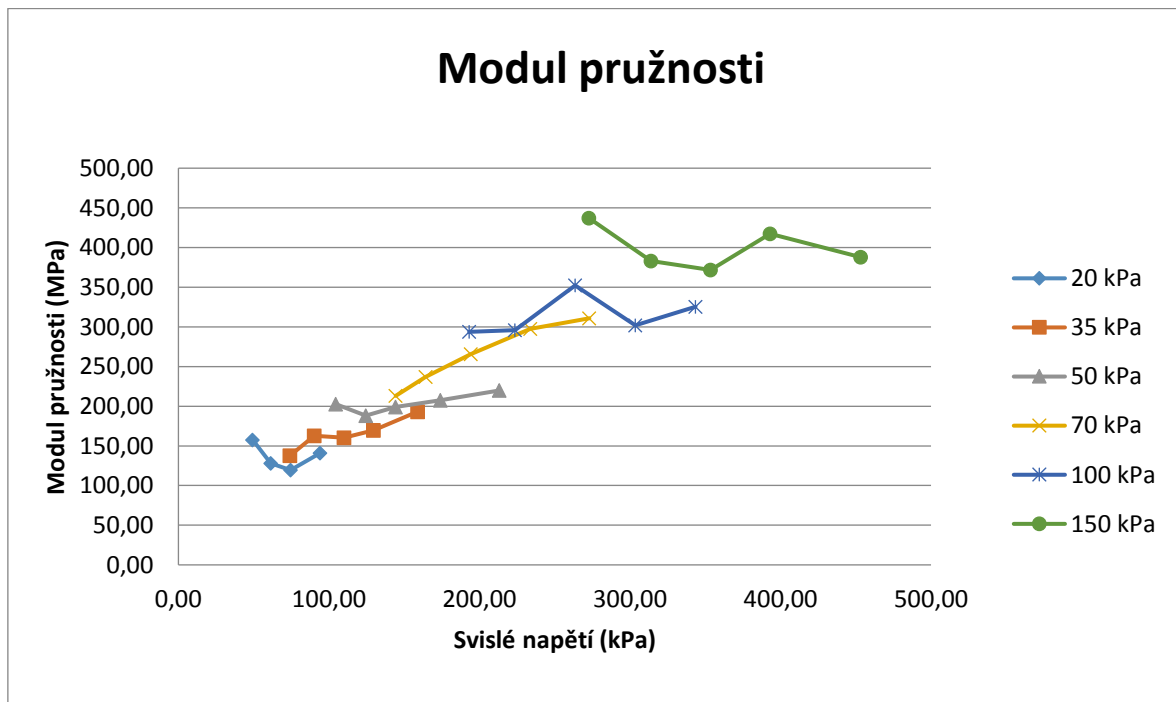
Označení směsi: ŠD 0/16

Označení vzorku: ŠD 0/16_c

Výška vzorku: 201 mm



Graf 26: Pracovní diagram vzorku ŠD 0/16_c



Graf 27: Moduly pružnosti E_r vzorku ŠD 0/16_c

Označení směsi: ŠD 0/22

Označení vzorku: ŠD 0/22_a

Výška vzorku: 204 mm

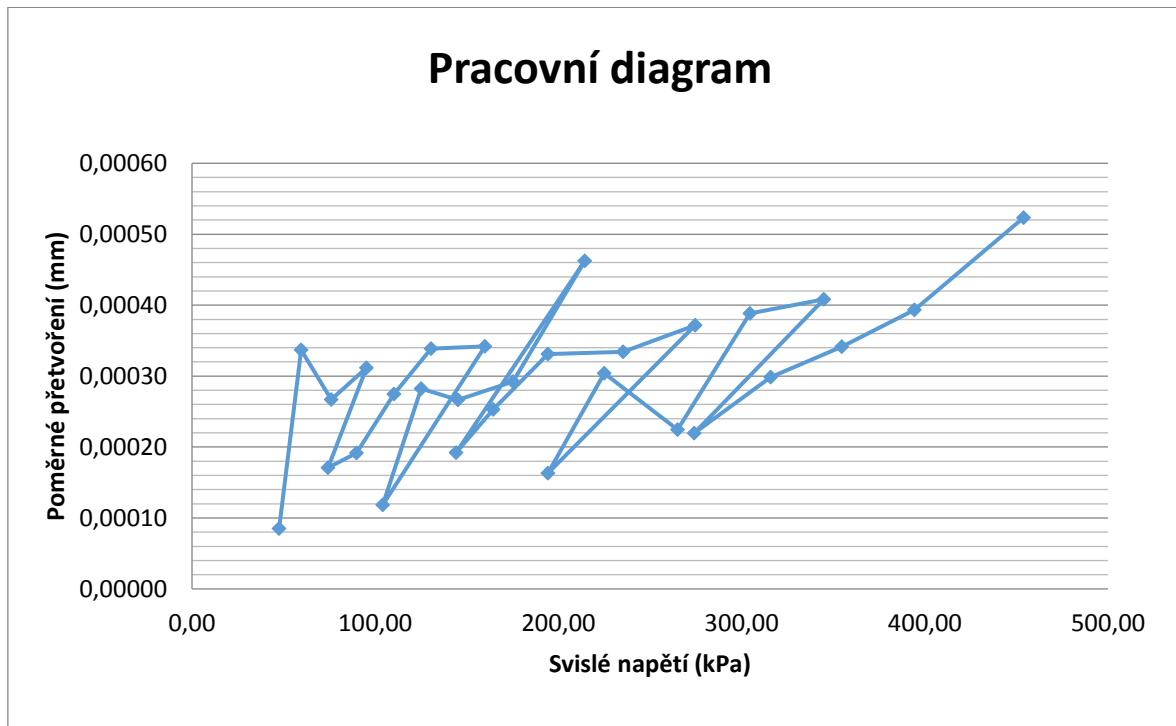
Tabulka 16: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku ŠD 0/22_a

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	26,08	21,45	47,53	0,00008	559,51
20	35	55	19,33	40,23	59,56	0,00034	176,76
20	50	70	20,56	55,39	75,95	0,00027	284,71
20	70	90	19,70	75,59	95,29	0,00031	305,59
35	35	70	34,55	39,73	74,27	0,00017	434,22
35	50	85	35,13	54,69	89,82	0,00019	469,30
35	70	105	34,87	75,36	110,23	0,00027	401,50
35	90	125	35,00	95,47	130,46	0,00034	385,32
35	120	155	34,94	124,93	159,87	0,00034	467,54
50	50	100	49,51	54,66	104,17	0,00012	879,33
50	70	120	50,28	74,79	125,07	0,00028	443,03
50	90	140	50,01	95,11	145,12	0,00027	544,67
50	120	170	50,12	125,16	175,28	0,00029	600,05
50	160	210	50,00	164,41	214,41	0,00046	463,60
70	70	140	69,20	75,01	144,21	0,00019	750,85
70	90	160	70,02	94,37	164,39	0,00025	649,50
70	120	190	69,95	124,26	194,21	0,00033	586,82
70	160	230	70,16	165,21	235,37	0,00033	703,99
70	200	270	70,13	204,47	274,60	0,00037	738,79
100	90	190	98,77	95,57	194,35	0,00016	1191,71
100	120	220	100,12	124,98	225,10	0,00030	740,00
100	160	260	100,21	164,78	265,00	0,00022	1181,05
100	200	300	99,94	204,62	304,57	0,00039	783,83
100	240	340	99,91	244,95	344,85	0,00041	844,51
150	120	270	148,48	125,68	274,16	0,00022	1247,65
150	160	310	150,16	165,76	315,92	0,00030	1058,24
150	200	350	150,16	204,52	354,67	0,00034	1039,26
150	240	390	149,84	244,45	394,28	0,00039	1002,07
150	300	450	150,22	303,69	453,92	0,00052	867,33

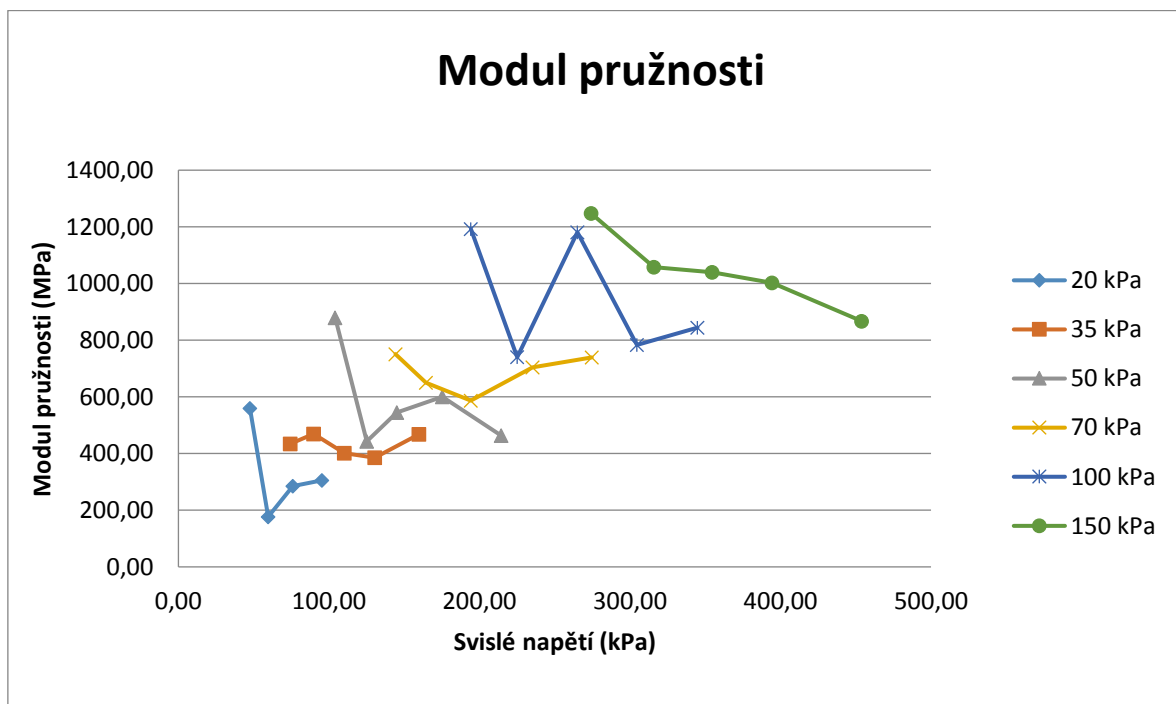
Označení směsi: ŠD 0/22

Označení vzorku: ŠD 0/22_a

Výška vzorku: 204 mm



Graf 28: Pracovní diagram vzorku ŠD 0/22_a



Graf 29: Moduly pružnosti E_r vzorku ŠD 0/22_a

Označení směsi: ŠD 0/22

Označení vzorku: ŠD 0/22_b

Výška vzorku: 202 mm

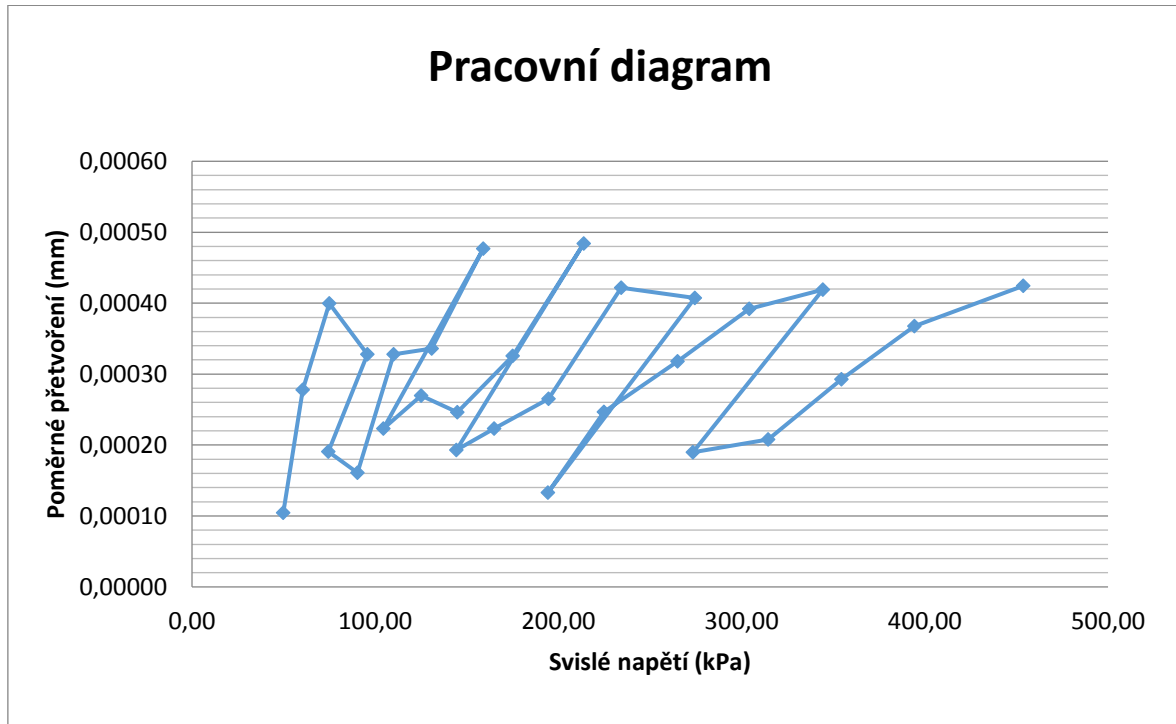
Tabulka 17: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku ŠD 0/22_b

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,00	24,84	49,84	0,00010	476,40
20	35	55	20,38	40,06	60,44	0,00028	217,74
20	50	70	19,65	55,37	75,01	0,00040	187,78
20	70	90	20,32	75,39	95,71	0,00033	291,92
35	35	70	34,13	40,31	74,45	0,00019	390,22
35	50	85	35,11	55,15	90,27	0,00016	560,63
35	70	105	34,82	75,18	110,01	0,00033	335,47
35	90	125	35,36	95,46	130,82	0,00034	389,46
35	120	155	34,99	124,06	159,05	0,00048	333,67
50	50	100	49,11	55,37	104,48	0,00022	467,66
50	70	120	50,24	74,88	125,13	0,00027	464,23
50	90	140	50,10	94,67	144,76	0,00025	588,31
50	120	170	49,96	125,15	175,11	0,00033	537,86
50	160	210	49,96	163,86	213,82	0,00048	441,57
70	70	140	69,46	74,84	144,30	0,00019	747,93
70	90	160	69,96	95,06	165,01	0,00022	739,91
70	120	190	70,16	124,54	194,70	0,00027	734,20
70	160	230	70,11	164,22	234,33	0,00042	555,59
70	200	270	69,83	204,63	274,46	0,00041	673,74
100	90	190	99,09	95,26	194,35	0,00013	1461,67
100	120	220	100,10	124,79	224,90	0,00025	911,40
100	160	260	100,24	164,87	265,11	0,00032	834,26
100	200	300	99,97	204,20	304,16	0,00039	775,64
100	240	340	99,90	244,48	344,38	0,00042	822,15
150	120	270	148,61	124,79	273,40	0,00019	1439,54
150	160	310	150,13	164,39	314,52	0,00021	1513,26
150	200	350	150,00	204,55	354,55	0,00029	1211,81
150	240	390	149,90	244,44	394,34	0,00037	1072,78
150	300	450	150,20	303,60	453,81	0,00042	1068,69

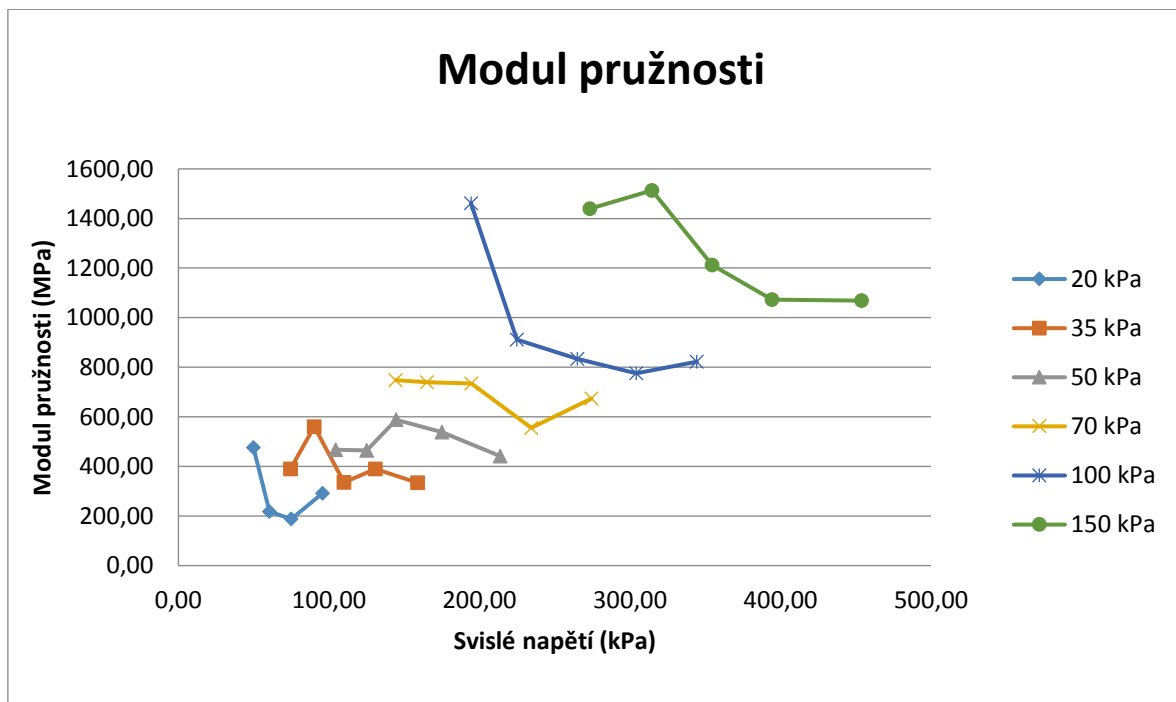
Označení směsi: ŠD 0/22

Označení vzorku: ŠD 0/22_b

Výška vzorku: 202 mm



Graf 30: Pracovní diagram vzorku ŠD 0/22_b



Graf 31: Moduly pružnosti E_r vzorku ŠD 0/22_b

Označení směsi: ŠD 0/22

Označení vzorku: ŠD 0/22_c

Výška vzorku: 197 mm

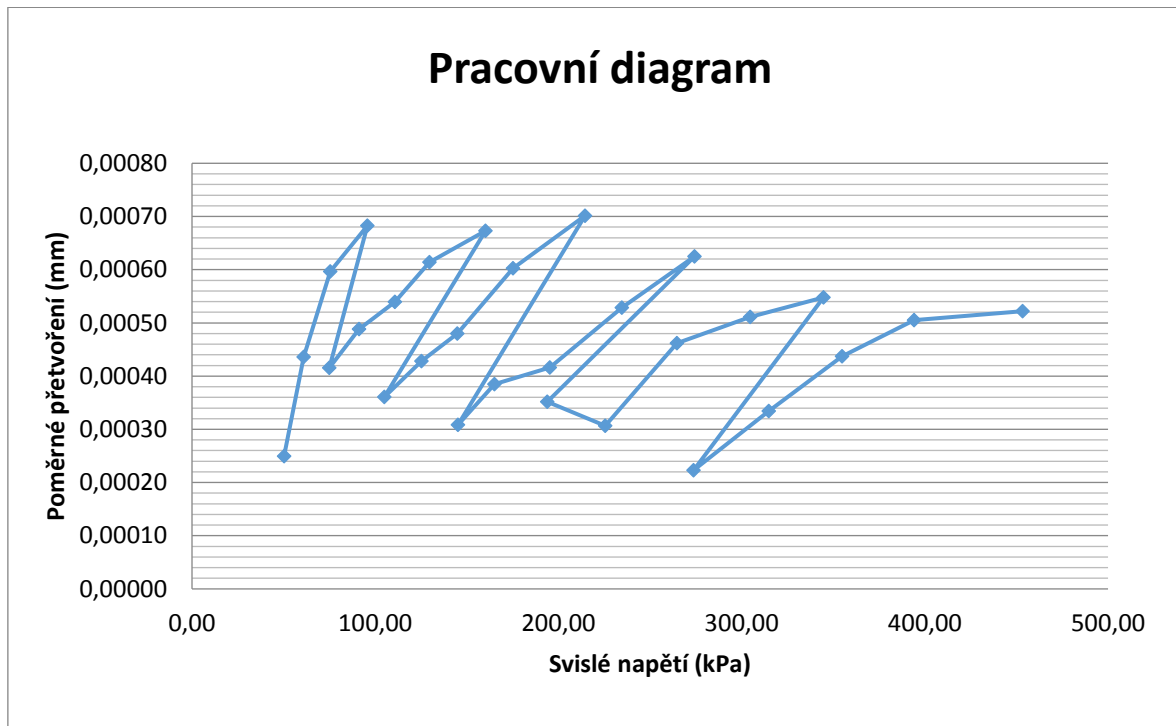
Tabulka 18: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku ŠD 0/22_c

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,24	25,00	50,24	0,00025	201,46
20	35	55	20,01	40,95	60,97	0,00044	139,79
20	50	70	19,66	55,89	75,55	0,00060	126,64
20	70	90	19,98	75,84	95,82	0,00068	140,37
35	35	70	34,15	40,87	75,02	0,00042	180,42
35	50	85	35,31	55,92	91,24	0,00049	186,83
35	70	105	34,96	75,81	110,78	0,00054	205,25
35	90	125	34,94	94,77	129,71	0,00061	211,14
35	120	155	35,22	124,98	160,20	0,00067	237,93
50	50	100	49,34	55,70	105,04	0,00036	291,26
50	70	120	49,94	75,32	125,26	0,00043	292,74
50	90	140	50,10	94,80	144,90	0,00048	302,02
50	120	170	50,03	125,25	175,28	0,00060	290,94
50	160	210	50,22	164,33	214,56	0,00070	305,82
70	70	140	69,46	75,73	145,18	0,00031	471,17
70	90	160	69,99	95,03	165,02	0,00039	428,60
70	120	190	70,14	125,26	195,40	0,00042	469,71
70	160	230	70,03	164,57	234,60	0,00053	443,97
70	200	270	70,04	204,25	274,29	0,00062	439,08
100	90	190	98,99	94,99	193,98	0,00035	551,40
100	120	220	100,34	125,25	225,59	0,00031	736,12
100	160	260	100,04	164,63	264,67	0,00046	573,03
100	200	300	100,03	204,70	304,73	0,00051	596,29
100	240	340	99,91	244,79	344,70	0,00055	629,10
150	120	270	148,78	124,96	273,74	0,00022	1227,15
150	160	310	150,19	164,62	314,81	0,00033	941,41
150	200	350	150,08	204,78	354,86	0,00044	811,27
150	240	390	149,99	244,25	394,24	0,00051	779,98
150	300	450	149,96	303,51	453,47	0,00052	869,04

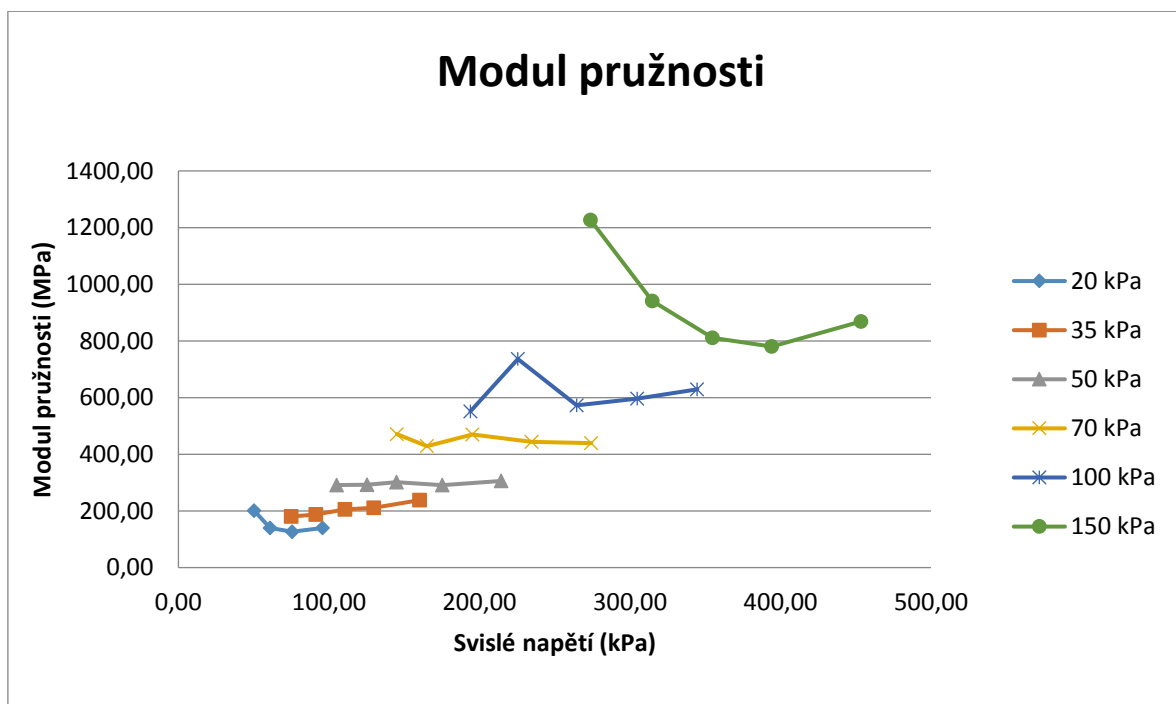
Označení směsi: ŠD 0/22

Označení vzorku: ŠD 0/22_c

Výška vzorku: 197 mm



Graf 32: Pracovní diagram vzorku ŠD 0/22_c



Graf 33: Moduly pružnosti E_r vzorku ŠD 0/22_c

Označení směsi: **MZK**

Označení vzorku: MZK_a

Výška vzorku: 201 mm

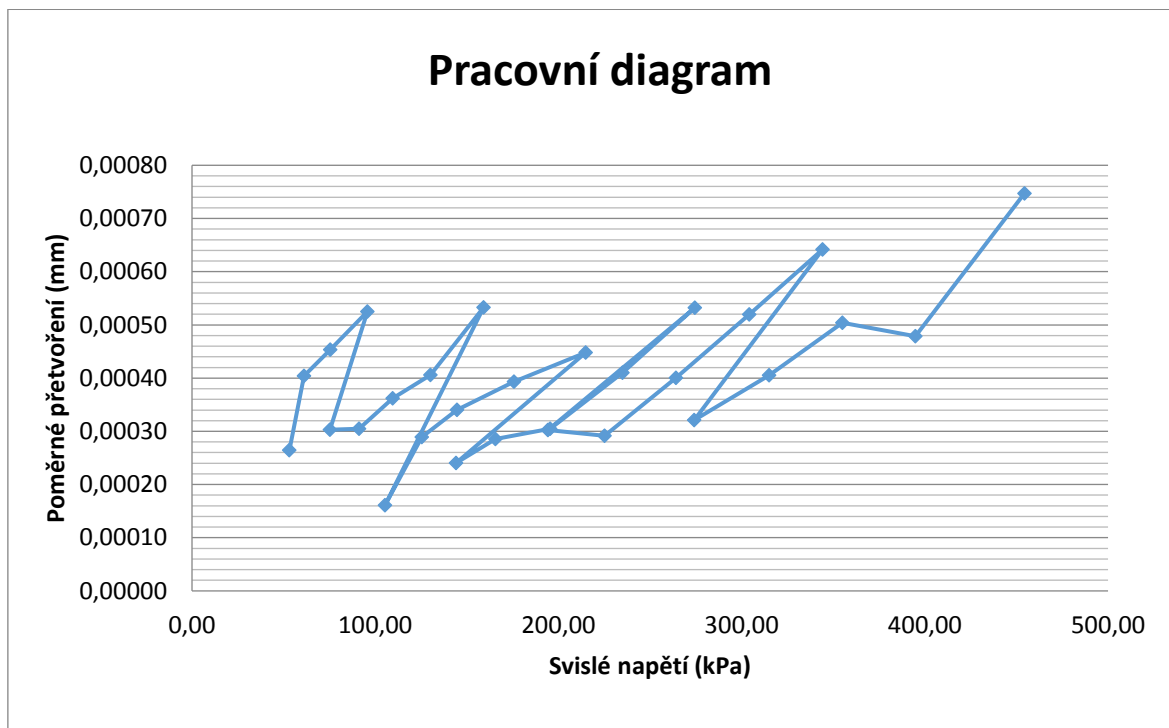
Tabulka 19: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku MZK_a

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,71	27,47	53,17	0,00026	201,15
20	35	55	19,81	41,26	61,07	0,00040	151,13
20	50	70	19,45	56,06	75,51	0,00045	166,60
20	70	90	19,84	75,90	95,74	0,00052	182,46
35	35	70	34,20	41,15	75,34	0,00030	248,68
35	50	85	35,61	55,55	91,16	0,00031	298,87
35	70	105	34,60	74,90	109,50	0,00036	302,50
35	90	125	35,05	95,09	130,13	0,00041	320,71
35	120	155	35,03	124,14	159,17	0,00053	298,80
50	50	100	49,78	55,58	105,35	0,00016	654,31
50	70	120	50,12	75,36	125,48	0,00029	434,05
50	90	140	49,79	94,96	144,75	0,00034	425,54
50	120	170	50,39	125,34	175,73	0,00039	446,56
50	160	210	49,88	165,00	214,89	0,00045	479,50
70	70	140	69,51	74,62	144,12	0,00024	599,81
70	90	160	69,76	95,94	165,70	0,00029	580,24
70	120	190	70,16	125,35	195,51	0,00030	641,70
70	160	230	70,29	164,72	235,02	0,00041	572,95
70	200	270	69,96	204,57	274,53	0,00053	515,79
100	90	190	98,83	95,43	194,26	0,00030	643,02
100	120	220	100,05	125,22	225,27	0,00029	772,98
100	160	260	100,10	164,15	264,25	0,00040	660,25
100	200	300	100,14	204,05	304,19	0,00052	585,21
100	240	340	100,07	244,18	344,25	0,00064	536,21
150	120	270	148,67	125,44	274,12	0,00032	853,68
150	160	310	150,09	164,94	315,03	0,00041	776,94
150	200	350	150,18	204,84	355,02	0,00050	704,55
150	240	390	149,91	245,01	394,92	0,00048	824,75
150	300	450	150,19	304,16	454,36	0,00075	608,17

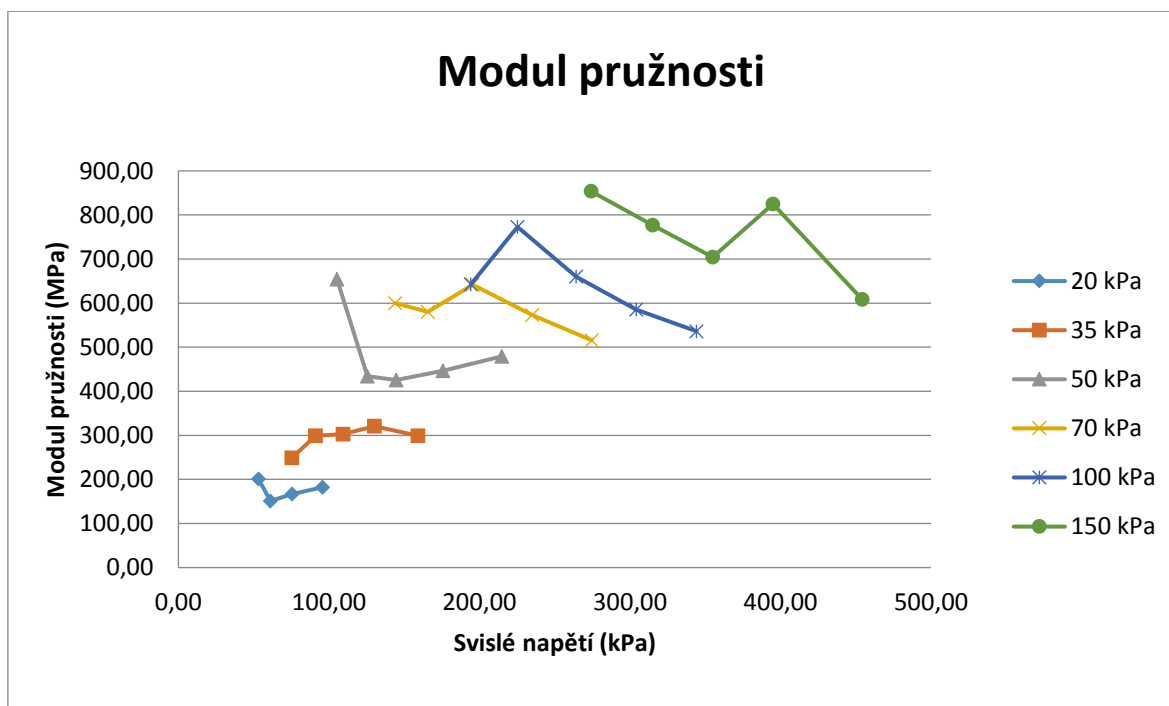
Označení směsi: **MZK**

Označení vzorku: MZK_a

Výška vzorku: 201 mm



Graf 34: Pracovní diagram vzorku MZK_a



Graf 35: Moduly pružnosti E_r vzorku MZK_a

Označení směsi: **MZK**

Označení vzorku: MZK_b

Výška vzorku: 202 mm

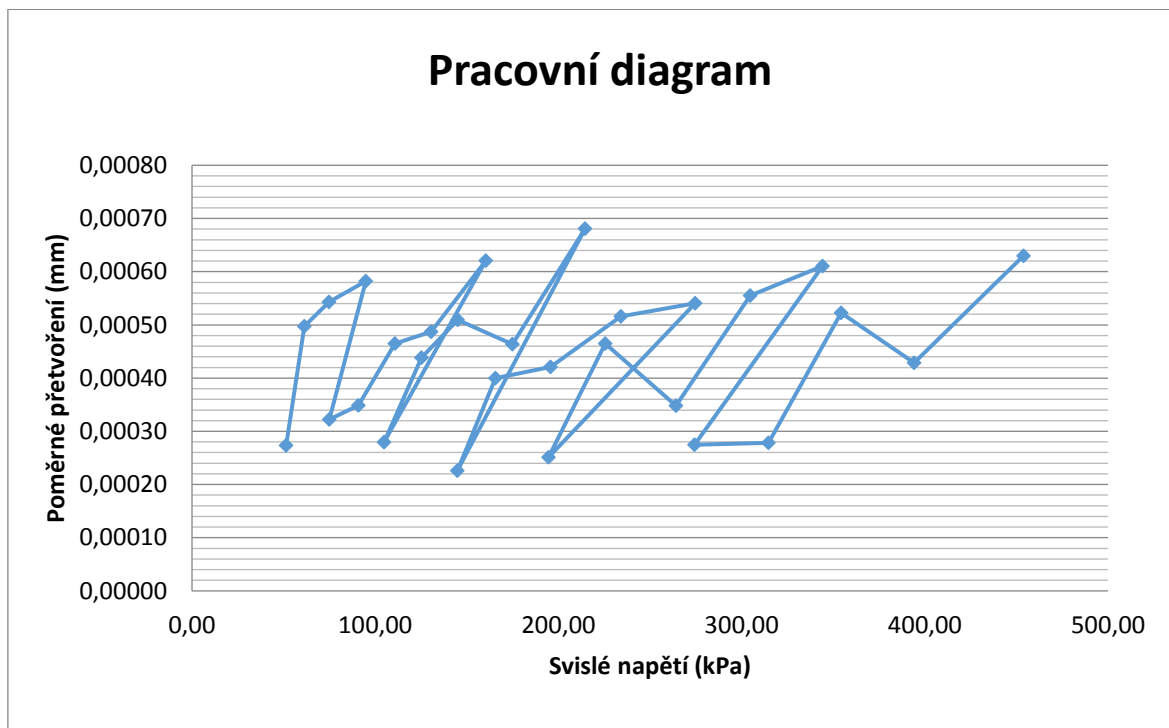
Tabulka 20: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku MZK_b

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	24,23	27,15	51,39	0,00027	188,07
20	35	55	20,64	40,63	61,27	0,00050	123,17
20	50	70	19,57	55,19	74,76	0,00054	137,69
20	70	90	20,01	74,95	94,95	0,00058	163,02
35	35	70	34,45	40,48	74,92	0,00032	232,33
35	50	85	35,08	55,85	90,93	0,00035	260,55
35	70	105	35,02	75,74	110,76	0,00046	238,25
35	90	125	35,20	95,28	130,49	0,00049	267,86
35	120	155	35,13	125,31	160,44	0,00062	258,49
50	50	100	49,29	55,61	104,90	0,00028	375,31
50	70	120	49,92	75,37	125,29	0,00044	285,95
50	90	140	50,17	94,89	145,06	0,00051	284,69
50	120	170	49,90	125,04	174,95	0,00046	377,14
50	160	210	50,08	164,48	214,56	0,00068	315,12
70	70	140	69,38	75,50	144,88	0,00023	641,15
70	90	160	70,03	95,63	165,66	0,00040	414,33
70	120	190	70,28	125,45	195,73	0,00042	464,99
70	160	230	69,87	164,33	234,20	0,00052	454,06
70	200	270	70,06	204,55	274,61	0,00054	507,65
100	90	190	99,13	95,56	194,69	0,00025	774,61
100	120	220	100,10	125,39	225,49	0,00046	485,38
100	160	260	100,00	164,14	264,14	0,00035	759,33
100	200	300	100,25	204,43	304,68	0,00056	548,64
100	240	340	99,91	244,25	344,16	0,00061	563,70
150	120	270	148,64	125,59	274,23	0,00027	998,43
150	160	310	150,03	164,61	314,64	0,00028	1130,86
150	200	350	150,22	204,12	354,33	0,00052	677,99
150	240	390	149,89	244,35	394,24	0,00043	919,49
150	300	450	150,03	303,80	453,84	0,00063	720,98

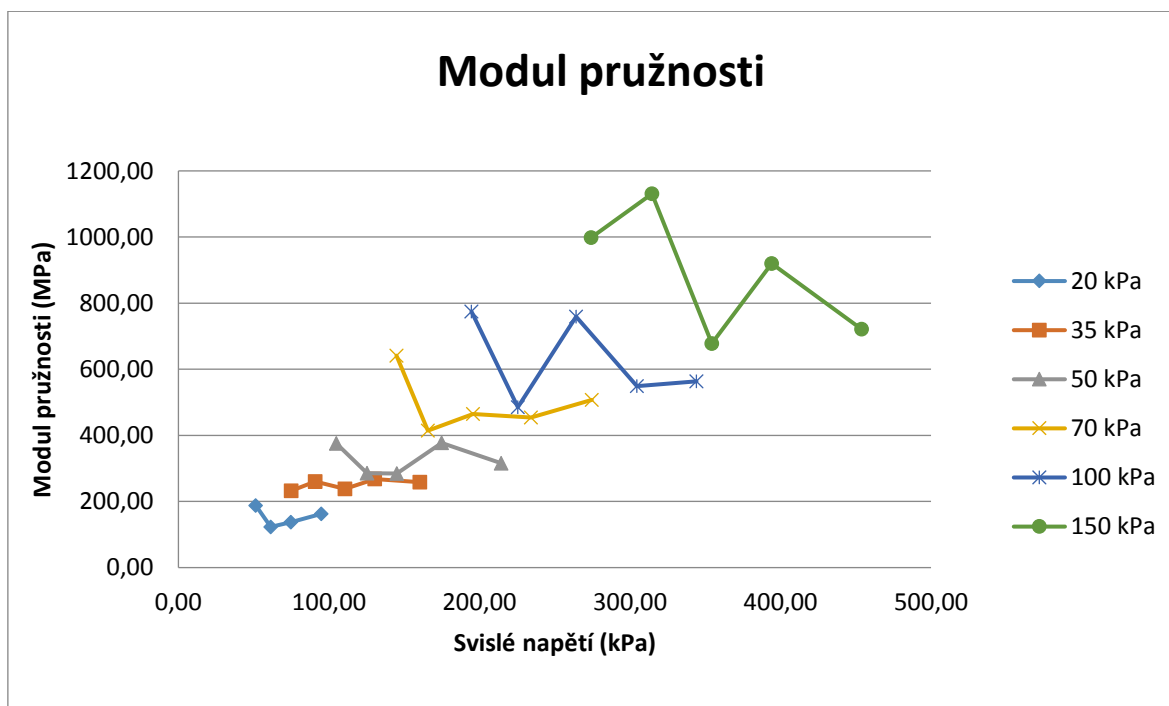
Označení směsi: **MZK**

Označení vzorku: MZK_b

Výška vzorku: 202 mm



Graf 36: Pracovní diagram vzorku MZK_b



Graf 37: Moduly pružnosti E_r vzorku MZK_b

Označení směsi: **MZK**

Označení vzorku: MZK_c

Výška vzorku: 202 mm

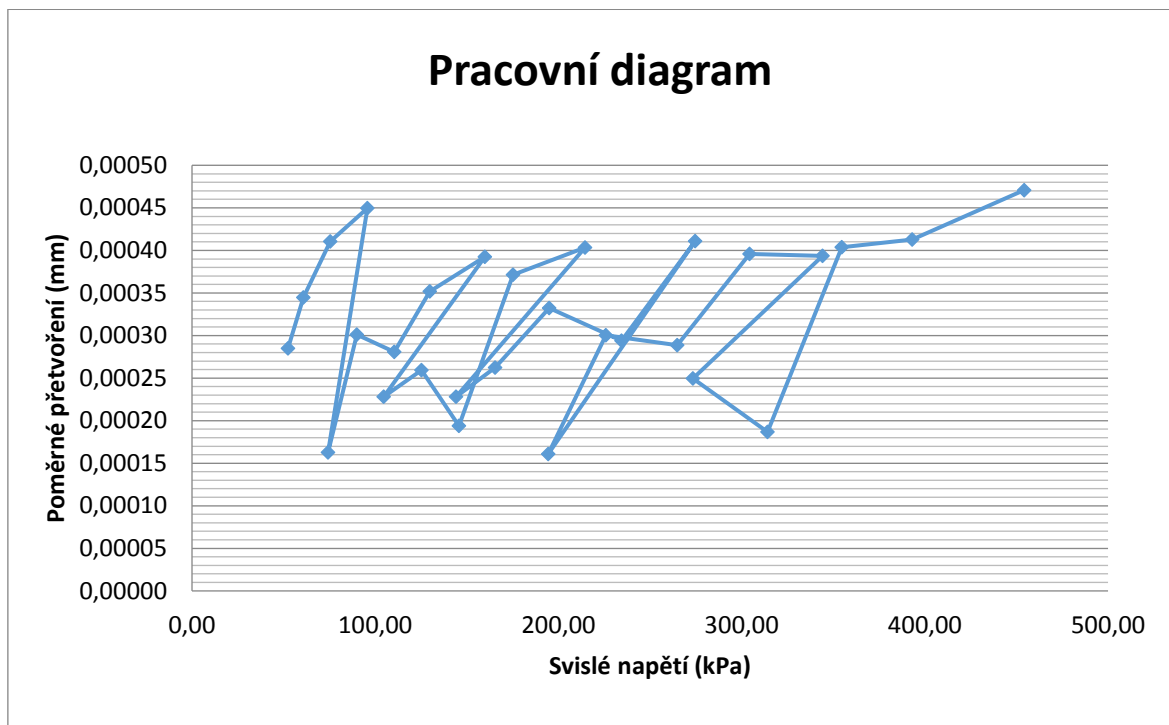
Tabulka 21: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku MZK_c

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,83	26,56	52,39	0,00028	183,91
20	35	55	19,89	40,90	60,79	0,00034	176,31
20	50	70	19,87	55,66	75,53	0,00041	184,06
20	70	90	19,60	76,13	95,73	0,00045	212,98
35	35	70	34,92	39,30	74,22	0,00016	456,20
35	50	85	34,56	55,45	90,01	0,00030	299,15
35	70	105	35,10	75,35	110,45	0,00028	393,46
35	90	125	35,00	94,80	129,80	0,00035	368,88
35	120	155	35,33	124,50	159,83	0,00039	407,09
50	50	100	49,16	55,51	104,67	0,00023	458,60
50	70	120	50,02	75,17	125,19	0,00026	482,82
50	90	140	50,36	95,27	145,63	0,00019	751,66
50	120	170	50,00	125,23	175,23	0,00037	471,61
50	160	210	49,83	164,65	214,48	0,00040	531,65
70	70	140	69,68	74,51	144,20	0,00023	632,01
70	90	160	70,08	95,30	165,38	0,00026	630,60
70	120	190	70,06	124,92	194,98	0,00033	586,89
70	160	230	70,04	164,39	234,44	0,00029	797,31
70	200	270	70,09	204,62	274,71	0,00041	668,31
100	90	190	98,84	95,56	194,40	0,00016	1207,76
100	120	220	100,34	125,61	225,95	0,00030	752,35
100	160	260	100,05	164,83	264,88	0,00029	918,01
100	200	300	100,07	204,22	304,29	0,00040	768,54
100	240	340	100,02	244,18	344,20	0,00039	874,92
150	120	270	148,71	124,71	273,42	0,00025	1096,47
150	160	310	149,83	164,23	314,06	0,00019	1683,11
150	200	350	150,22	204,46	354,68	0,00040	878,58
150	240	390	149,91	243,18	393,09	0,00041	952,56
150	300	450	149,93	304,29	454,22	0,00047	964,70

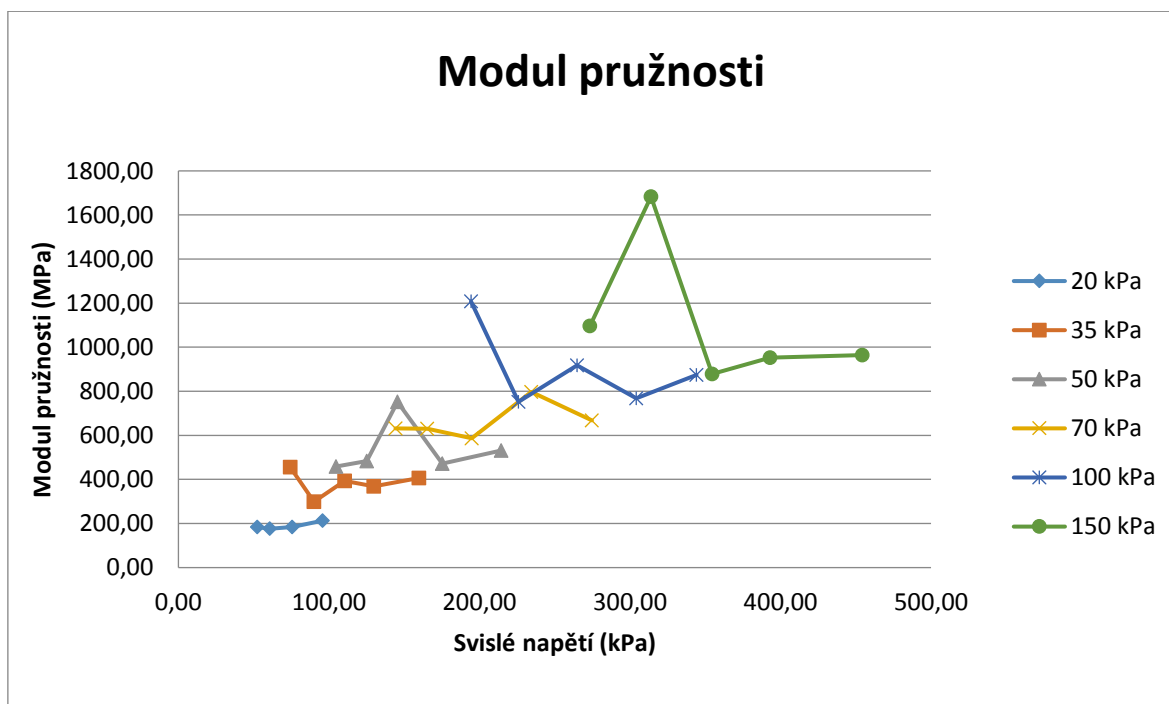
Označení směsi: **MZK**

Označení vzorku: MZK_c

Výška vzorku: 202 mm



Graf 38: Pracovní diagram vzorku MZK_c



Graf 39: Moduly pružnosti E_r vzorku MZK_c

Označení směsi: **R-materiál**

Označení vzorku: R-materiál_a

Výška vzorku: 199 mm

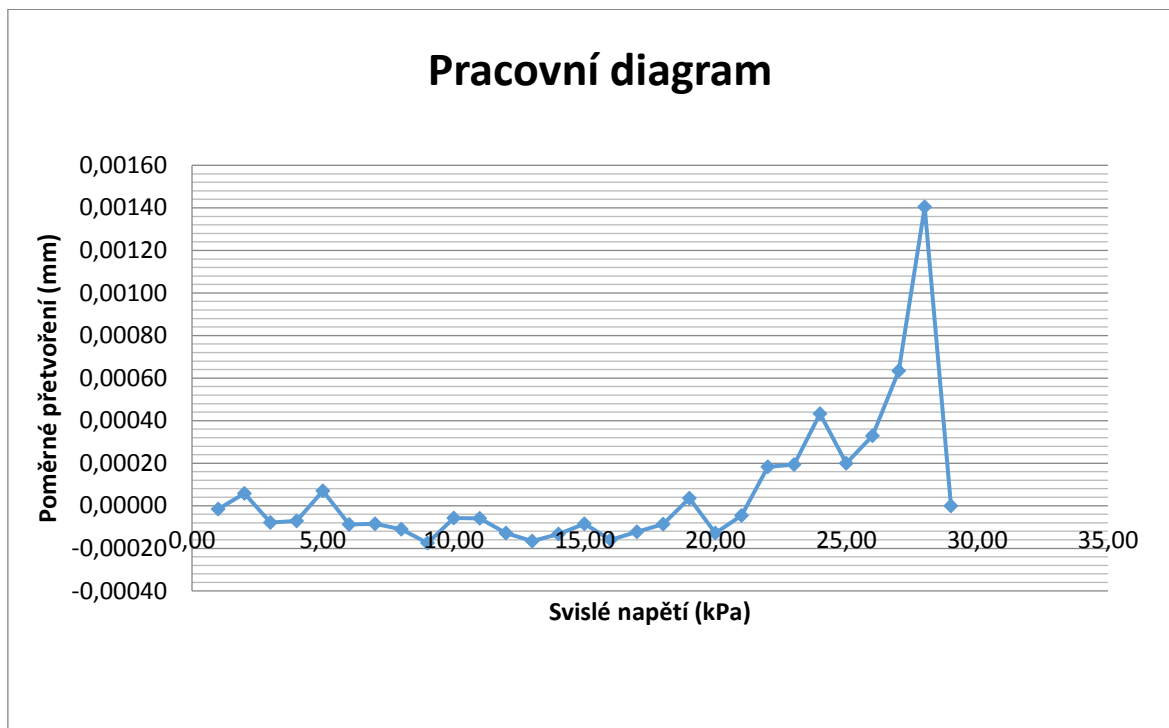
Tabulka 22: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku R-materiál_a

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	26,17	19,31	45,48	-0,00002	-2884,90
20	35	55	19,82	39,58	59,40	0,00006	1020,95
20	50	70	19,60	54,60	74,20	-0,00008	-944,94
20	70	90	20,04	75,07	95,11	-0,00007	-1348,00
35	35	70	34,47	39,78	74,25	0,00007	1060,79
35	50	85	35,08	55,06	90,14	-0,00009	-1028,65
35	70	105	34,92	75,26	110,18	-0,00008	-1300,51
35	90	125	35,14	94,87	130,01	-0,00011	-1185,95
35	120	155	35,02	124,51	159,54	-0,00018	-910,48
50	50	100	49,62	55,48	105,10	-0,00006	-1811,97
50	70	120	50,06	75,78	125,84	-0,00006	-2137,55
50	90	140	50,22	95,28	145,50	-0,00013	-1131,28
50	120	170	49,84	124,84	174,68	-0,00017	-1047,77
50	160	210	50,04	164,61	214,66	-0,00013	-1613,35
70	70	140	69,56	74,79	144,35	-0,00008	-1700,77
70	90	160	70,11	94,64	164,75	-0,00016	-1033,61
70	120	190	69,86	124,23	194,09	-0,00012	-1592,16
70	160	230	70,34	164,21	234,55	-0,00009	-2740,47
70	200	270	69,82	203,90	273,71	0,00004	7544,68
100	90	190	99,19	93,90	193,10	-0,00013	-1501,35
100	120	220	99,98	123,36	223,35	-0,00005	-4891,12
100	160	260	100,35	163,26	263,61	0,00018	1445,99
100	200	300	99,98	203,26	303,23	0,00019	1565,42
100	240	340	100,04	243,25	343,29	0,00043	793,12
150	120	270	148,68	124,03	272,71	0,00020	1365,68
150	160	310	150,26	163,90	314,17	0,00033	956,40
150	200	350	149,97	204,22	354,19	0,00063	557,82
150	240	390	150,07	242,46	392,53	0,00140	279,54
150	300	450	-	-	-	-	-

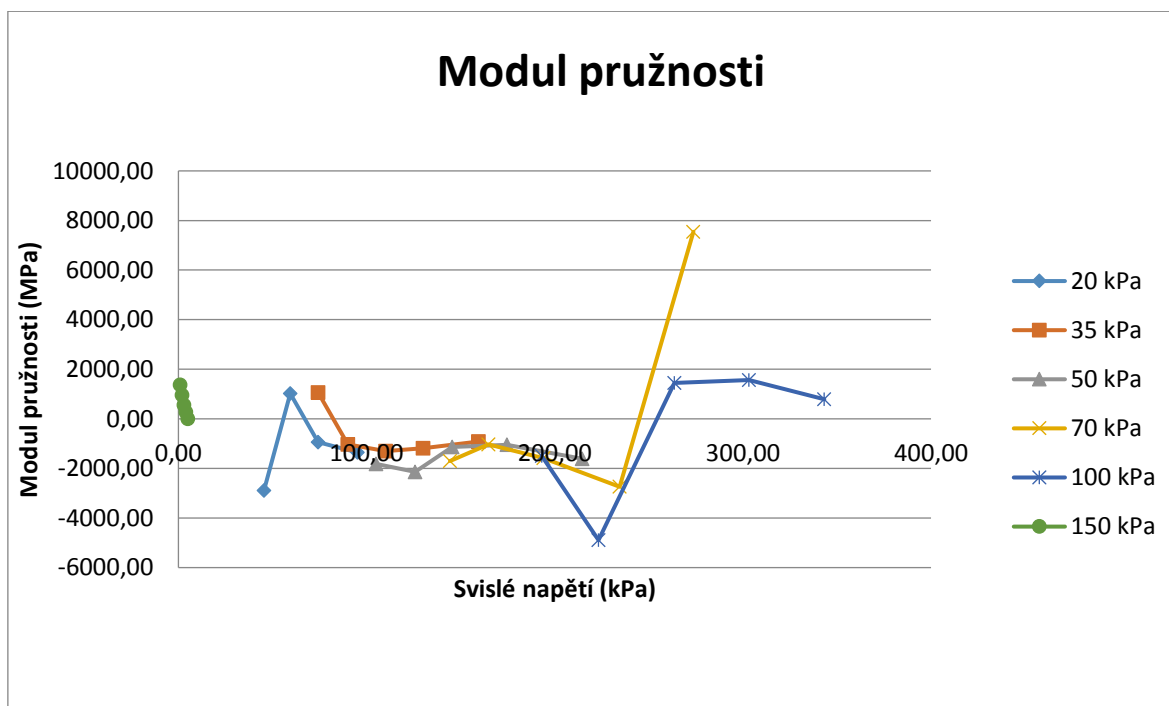
Označení směsi: **R-materiál**

Označení vzorku: R-materiál_a

Výška vzorku: 199 mm



Graf 40: Pracovní diagram vzorku R-materiál_a



Graf 41: Moduly pružnosti E_r vzorku R-materiál_a

Označení směsi: **R-materiál**

Označení vzorku: R-materiál_b

Výška vzorku: 196 mm

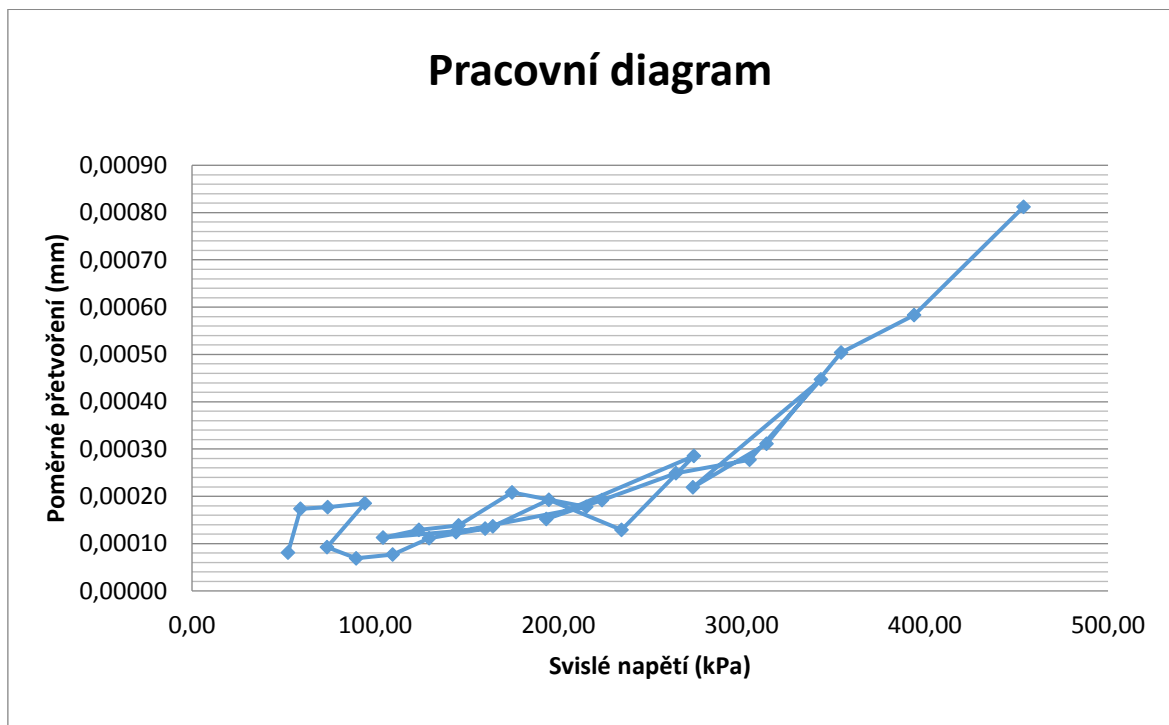
Tabulka 23: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku R-materiál_b

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,55	26,86	52,41	0,00008	648,98
20	35	55	19,87	39,36	59,23	0,00017	340,99
20	50	70	19,93	54,11	74,04	0,00018	418,17
20	70	90	19,68	74,69	94,36	0,00018	510,32
35	35	70	34,31	39,34	73,65	0,00009	797,62
35	50	85	35,08	54,55	89,63	0,00007	1297,87
35	70	105	35,25	74,31	109,56	0,00008	1419,80
35	90	125	35,08	94,34	129,43	0,00011	1165,09
35	120	155	34,82	125,27	160,09	0,00013	1216,69
50	50	100	49,48	54,84	104,32	0,00011	924,28
50	70	120	49,93	73,89	123,81	0,00013	960,24
50	90	140	50,08	95,40	145,48	0,00014	1052,08
50	120	170	50,02	124,63	174,65	0,00021	837,74
50	160	210	50,39	164,78	215,18	0,00018	1210,38
70	70	140	69,24	74,99	144,23	0,00012	1163,33
70	90	160	69,71	94,56	164,27	0,00014	1201,35
70	120	190	70,10	124,76	194,86	0,00019	1011,34
70	160	230	70,10	164,45	234,55	0,00013	1818,60
70	200	270	70,18	203,73	273,91	0,00029	960,01
100	90	190	99,13	94,30	193,42	0,00015	1275,01
100	120	220	99,96	123,79	223,76	0,00019	1166,65
100	160	260	100,39	163,85	264,25	0,00025	1062,66
100	200	300	100,07	204,29	304,36	0,00028	1097,18
100	240	340	99,89	243,41	343,30	0,00045	768,02
150	120	270	148,89	124,53	273,42	0,00022	1248,95
150	160	310	149,77	163,86	313,63	0,00031	1008,85
150	200	350	150,12	204,14	354,26	0,00050	702,94
150	240	390	150,36	243,78	394,14	0,00058	675,85
150	300	450	149,97	303,97	453,95	0,00081	558,99

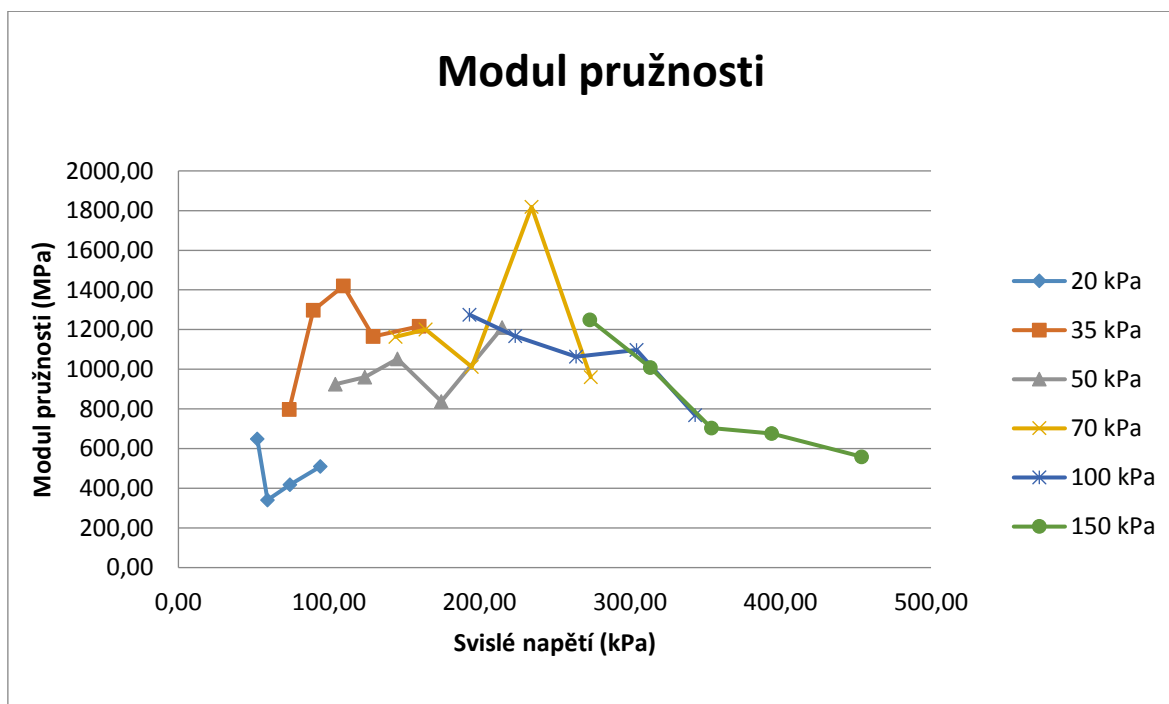
Označení směsi: **R-materiál**

Označení vzorku: R-materiál_b

Výška vzorku: 196 mm



Graf 42: Pracovní diagram vzorku R-materiál_b



Graf 43: Moduly pružnosti E_r vzorku R-materiál_b

Označení směsi: **R-materiál**

Označení vzorku: R-materiál_c

Výška vzorku: 200 mm

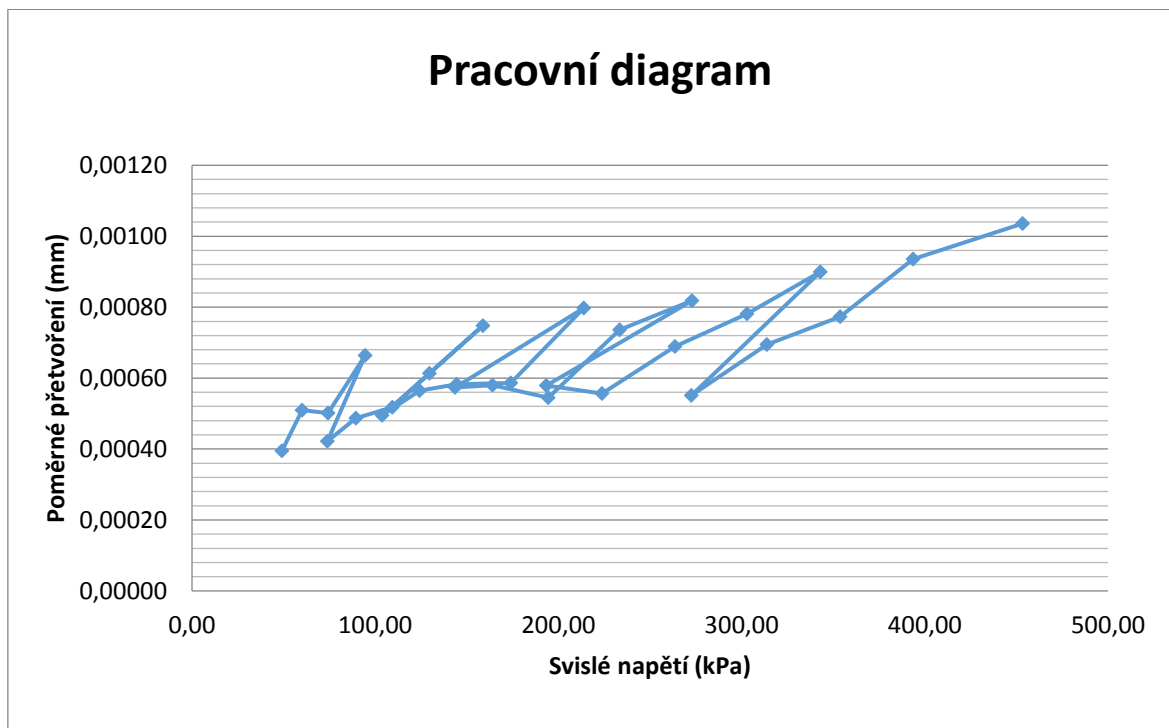
Tabulka 24: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku R-materiál_c

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	23,92	25,17	49,09	0,00039	124,31
20	35	55	20,56	39,48	60,04	0,00051	117,73
20	50	70	19,99	54,27	74,26	0,00050	148,09
20	70	90	19,99	74,50	94,49	0,00066	142,28
35	35	70	34,19	39,76	73,95	0,00042	175,30
35	50	85	35,04	54,37	89,41	0,00049	183,67
35	70	105	34,93	74,36	109,29	0,00052	211,12
35	90	125	35,15	94,41	129,56	0,00061	211,34
35	120	155	35,04	123,80	158,85	0,00075	212,32
50	50	100	49,61	54,23	103,84	0,00049	209,86
50	70	120	49,93	74,24	124,17	0,00057	219,75
50	90	140	50,13	94,38	144,51	0,00058	247,97
50	120	170	49,97	124,00	173,97	0,00059	296,78
50	160	210	50,20	163,63	213,83	0,00080	268,20
70	70	140	69,26	74,40	143,66	0,00057	250,31
70	90	160	70,03	94,00	164,03	0,00058	283,04
70	120	190	70,37	124,10	194,47	0,00055	356,79
70	160	230	69,95	163,42	233,37	0,00074	316,99
70	200	270	69,99	202,96	272,95	0,00082	333,66
100	90	190	99,27	94,12	193,39	0,00058	333,99
100	120	220	99,95	123,80	223,75	0,00056	401,87
100	160	260	100,34	163,27	263,61	0,00069	382,72
100	200	300	100,03	202,98	303,01	0,00078	388,09
100	240	340	99,90	243,13	343,03	0,00090	381,57
150	120	270	148,88	123,76	272,65	0,00055	494,59
150	160	310	149,95	163,86	313,80	0,00069	451,73
150	200	350	150,26	203,60	353,86	0,00077	457,94
150	240	390	149,92	243,69	393,62	0,00094	420,69
150	300	450	150,17	303,24	453,42	0,00104	437,81

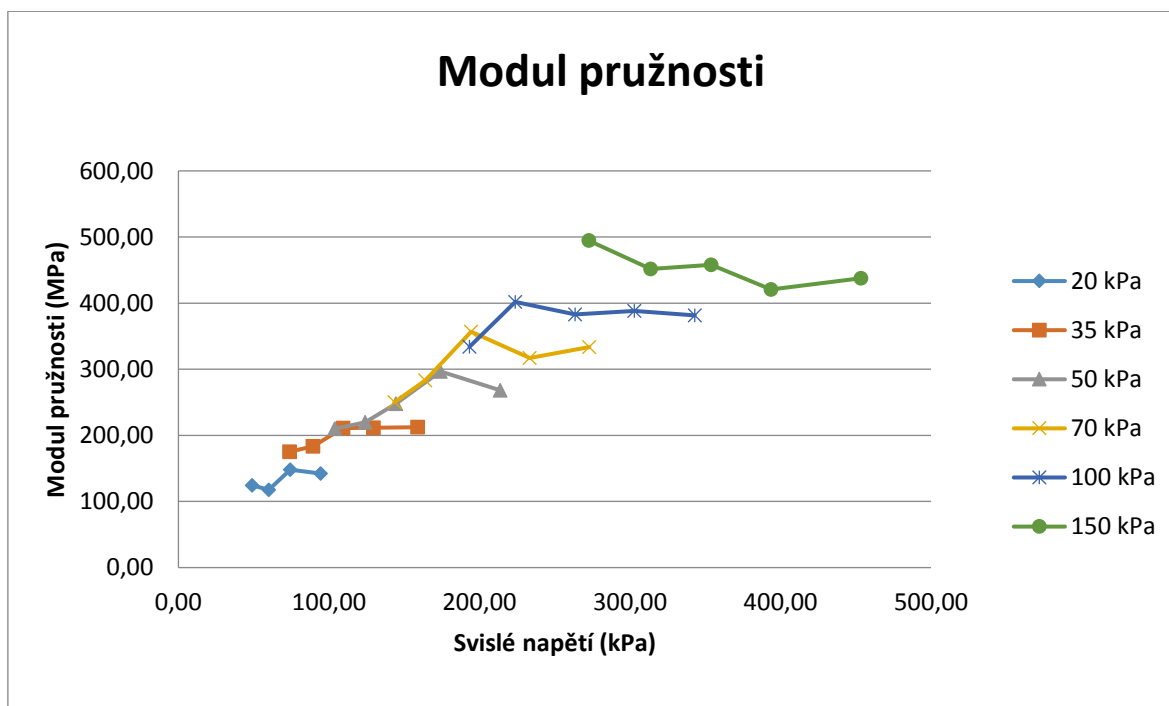
Označení směsi: **R-materiál**

Označení vzorku: R-materiál_c

Výška vzorku: 200 mm



Graf 44: Pracovní diagram vzorku R-materiál_c



Graf 45: Moduly pružnosti E_r vzorku R-materiál_c

Označení směsi: **SC 0/16; C_{6/8}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{6/8_a} (7 dní)

Výška vzorku: 198 mm

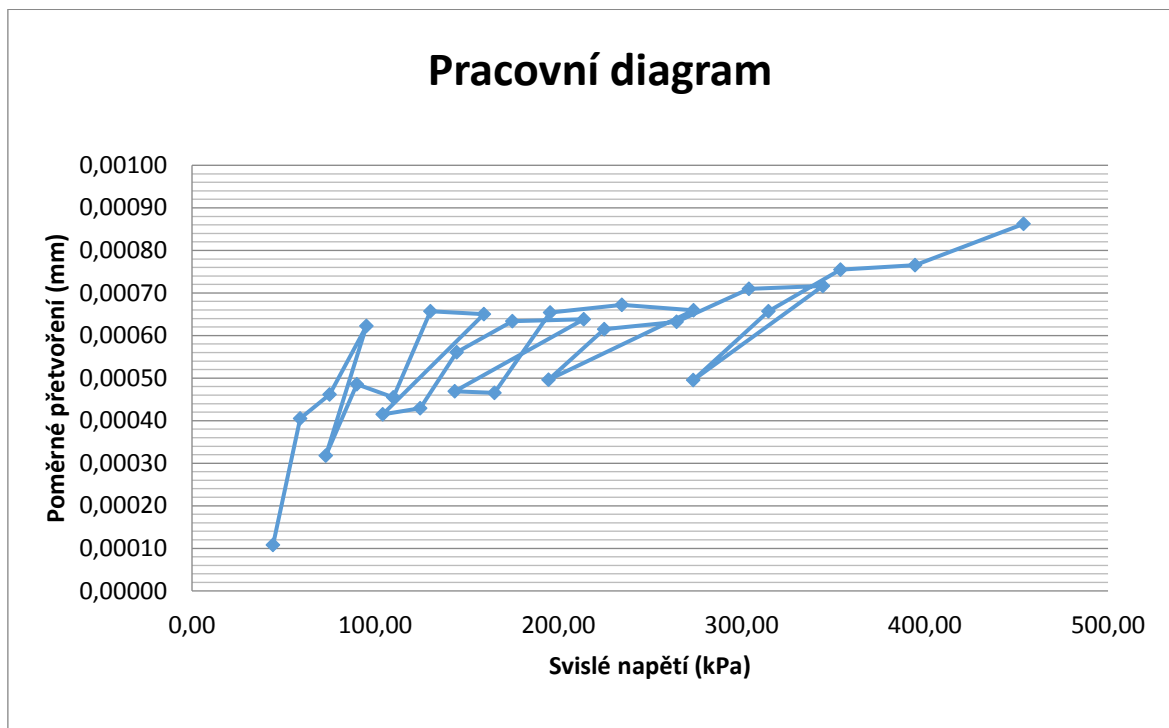
Tabulka 25: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C_{6/8_a}

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	24,49	19,72	44,21	0,00011	409,70
20	35	55	20,12	38,93	59,05	0,00040	145,83
20	50	70	20,24	54,85	75,08	0,00046	162,84
20	70	90	19,85	75,44	95,28	0,00062	153,16
35	35	70	34,24	38,80	73,04	0,00032	229,55
35	50	85	35,30	54,68	89,98	0,00049	185,37
35	70	105	34,89	74,97	109,86	0,00045	241,52
35	90	125	35,21	94,93	130,14	0,00066	198,14
35	120	155	34,88	124,39	159,27	0,00065	244,87
50	50	100	49,77	54,39	104,16	0,00042	250,99
50	70	120	49,97	74,61	124,59	0,00043	290,20
50	90	140	50,10	94,38	144,49	0,00056	257,55
50	120	170	49,93	124,90	174,83	0,00063	275,86
50	160	210	50,02	163,79	213,81	0,00064	335,04
70	70	140	69,27	74,18	143,44	0,00047	306,09
70	90	160	70,21	94,94	165,15	0,00047	354,88
70	120	190	69,94	125,60	195,54	0,00065	298,97
70	160	230	70,28	164,31	234,59	0,00067	349,22
70	200	270	69,88	203,97	273,84	0,00066	415,54
100	90	190	99,27	95,38	194,65	0,00050	392,11
100	120	220	100,09	124,98	225,07	0,00061	366,04
100	160	260	100,07	164,38	264,45	0,00063	418,14
100	200	300	100,02	204,05	304,07	0,00071	428,25
100	240	340	100,04	244,25	344,29	0,00072	480,67
150	120	270	148,57	125,07	273,64	0,00050	552,43
150	160	310	150,06	164,53	314,59	0,00066	478,70
150	200	350	150,00	204,06	354,06	0,00075	469,02
150	240	390	150,21	244,41	394,61	0,00077	515,61
150	300	450	150,03	303,90	453,93	0,00086	526,44

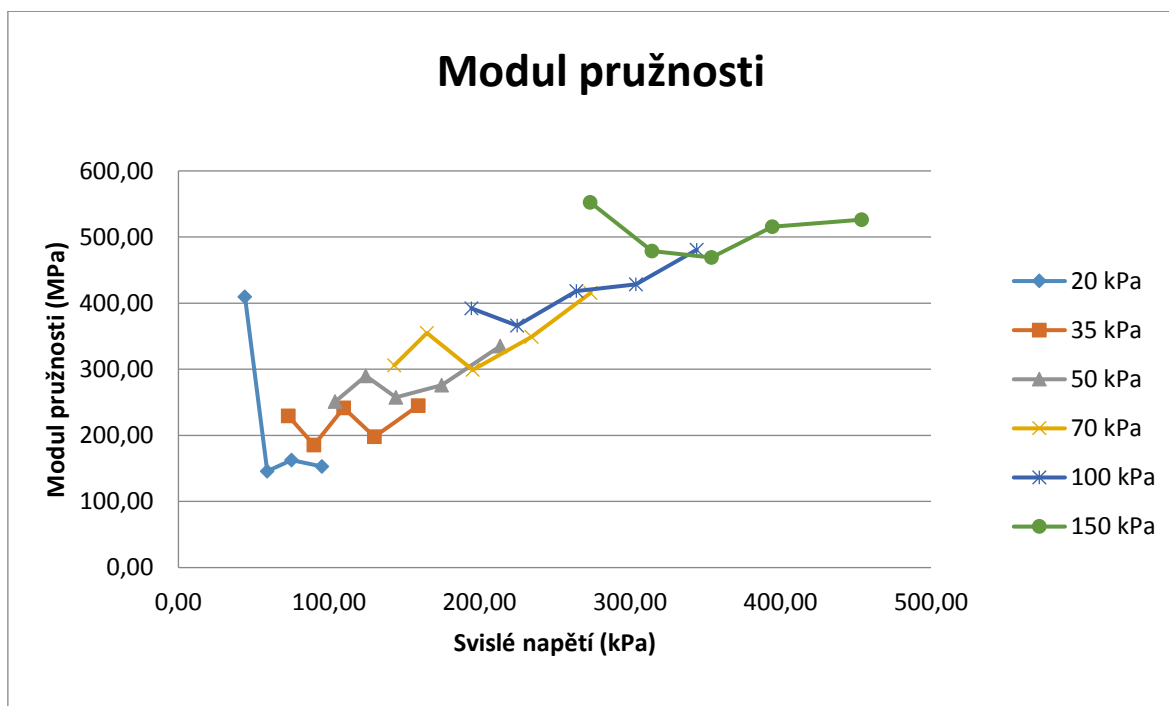
Označení směsi: **SC 0/16; C_{6/8}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{6/8_a} (7 dní)

Výška vzorku: 198 mm



Graf 46: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C_{6/8_a}



Graf 47: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C_{6/8_a}

Označení směsi: **SC 0/16; C_{6/8}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{6/8_b} (7 dní)

Výška vzorku: 197 mm

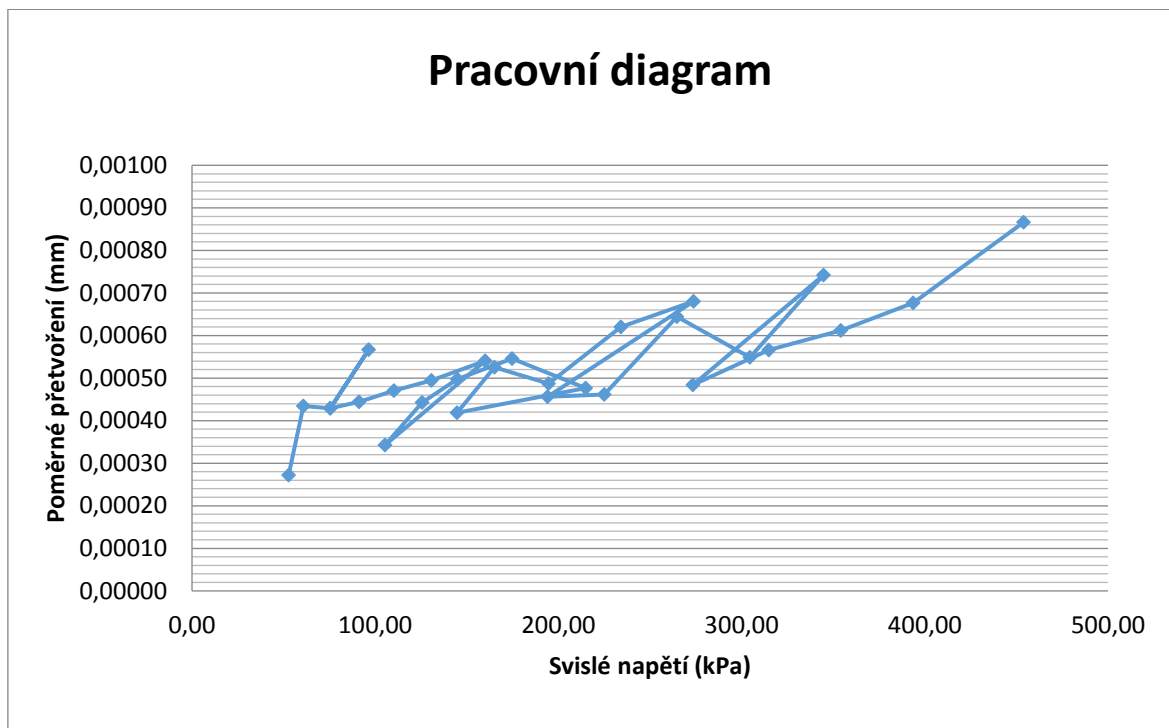
Tabulka 26: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C_{6/8_b}

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,78	26,96	52,74	0,00027	194,02
20	35	55	19,58	41,23	60,82	0,00043	139,93
20	50	70	19,24	56,23	75,48	0,00043	175,90
20	70	90	20,00	76,37	96,37	0,00057	169,96
35	35	70	34,36	41,06	75,42	0,00043	175,66
35	50	85	35,60	55,65	91,25	0,00044	205,30
35	70	105	34,54	75,72	110,25	0,00047	234,42
35	90	125	35,27	95,49	130,75	0,00049	264,29
35	120	155	35,07	124,95	160,02	0,00054	296,22
50	50	100	49,55	55,74	105,29	0,00034	307,34
50	70	120	50,11	75,55	125,67	0,00044	283,97
50	90	140	49,90	94,88	144,79	0,00050	291,00
50	120	170	50,05	124,59	174,64	0,00055	319,82
50	160	210	50,09	164,73	214,82	0,00048	450,93
70	70	140	69,37	75,22	144,59	0,00042	345,24
70	90	160	69,88	95,24	165,12	0,00053	314,33
70	120	190	70,20	124,38	194,58	0,00049	399,51
70	160	230	70,18	163,99	234,17	0,00062	377,69
70	200	270	69,87	203,94	273,81	0,00068	402,31
100	90	190	98,99	95,14	194,13	0,00046	425,79
100	120	220	100,17	124,88	225,05	0,00046	487,72
100	160	260	100,13	164,55	264,68	0,00064	410,61
100	200	300	100,07	204,40	304,47	0,00055	554,99
100	240	340	100,17	244,53	344,70	0,00074	464,47
150	120	270	148,36	125,08	273,45	0,00048	564,89
150	160	310	150,26	164,59	314,85	0,00057	556,18
150	200	350	150,17	204,02	354,20	0,00061	579,11
150	240	390	149,78	243,91	393,69	0,00068	582,19
150	300	450	150,26	303,70	453,96	0,00087	524,13

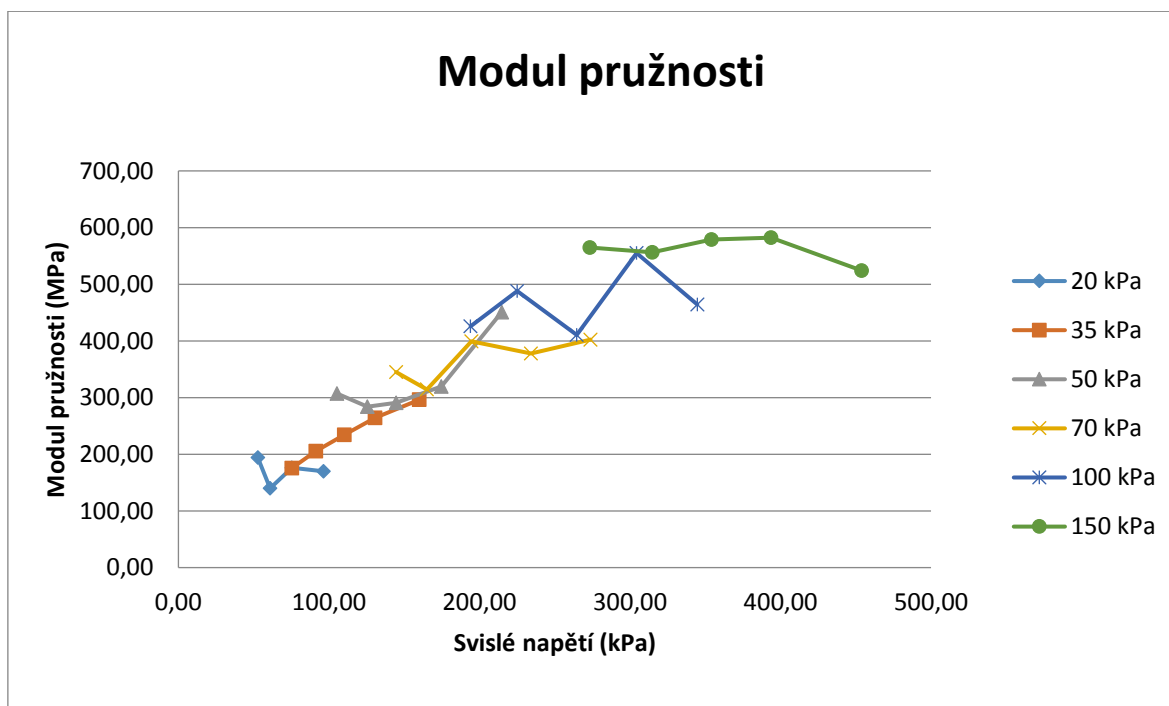
Označení směsi: **SC 0/16; C_{6/8}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{6/8_b} (7 dní)

Výška vzorku: 197 mm



Graf 48: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C_{6/8_b}



Graf 49: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C_{6/8_b}

Označení směsi: **SC 0/16; C_{6/8}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{6/8_c} (7 dní)

Výška vzorku: 204 mm

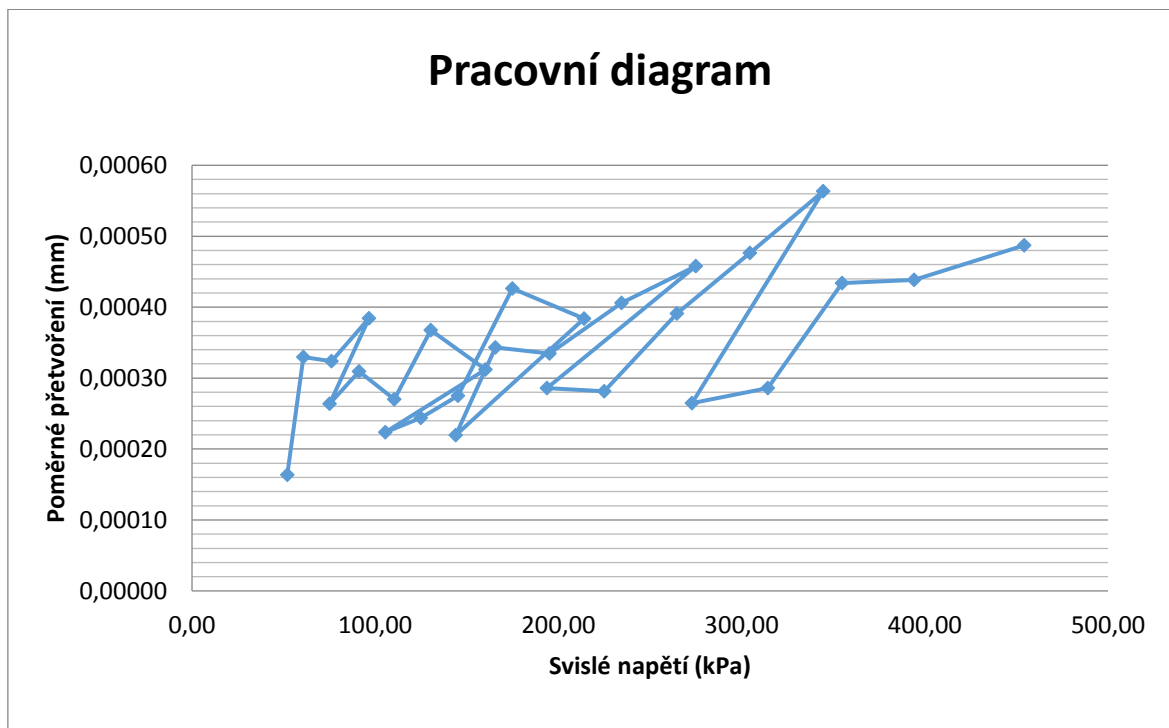
Tabulka 27: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C_{6/8_c}

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	26,16	25,83	51,99	0,00016	317,86
20	35	55	19,48	41,32	60,80	0,00033	184,36
20	50	70	19,42	56,77	76,19	0,00032	235,42
20	70	90	20,58	76,05	96,63	0,00038	251,40
35	35	70	33,42	41,70	75,11	0,00026	284,95
35	50	85	35,47	55,69	91,16	0,00031	294,58
35	70	105	35,17	75,21	110,38	0,00027	408,85
35	90	125	34,98	95,38	130,37	0,00037	354,72
35	120	155	34,78	125,43	160,21	0,00031	513,62
50	50	100	49,91	55,62	105,54	0,00022	472,38
50	70	120	49,91	75,02	124,93	0,00024	511,84
50	90	140	50,08	95,15	145,23	0,00027	528,12
50	120	170	50,12	124,74	174,86	0,00043	410,06
50	160	210	49,91	164,20	214,10	0,00038	557,62
70	70	140	69,23	74,79	144,02	0,00022	655,81
70	90	160	70,28	95,38	165,66	0,00034	482,78
70	120	190	70,00	125,07	195,07	0,00033	582,83
70	160	230	69,84	164,66	234,50	0,00041	577,78
70	200	270	70,35	204,61	274,96	0,00046	600,75
100	90	190	98,85	94,86	193,71	0,00029	677,73
100	120	220	100,15	124,89	225,04	0,00028	800,16
100	160	260	100,05	164,67	264,72	0,00039	676,94
100	200	300	99,90	204,59	304,49	0,00048	639,08
100	240	340	100,28	244,31	344,59	0,00056	611,72
150	120	270	148,29	124,67	272,96	0,00026	1031,67
150	160	310	150,14	164,12	314,26	0,00029	1099,09
150	200	350	150,12	204,77	354,89	0,00043	818,18
150	240	390	149,85	244,35	394,21	0,00044	898,66
150	300	450	150,19	304,12	454,31	0,00049	932,76

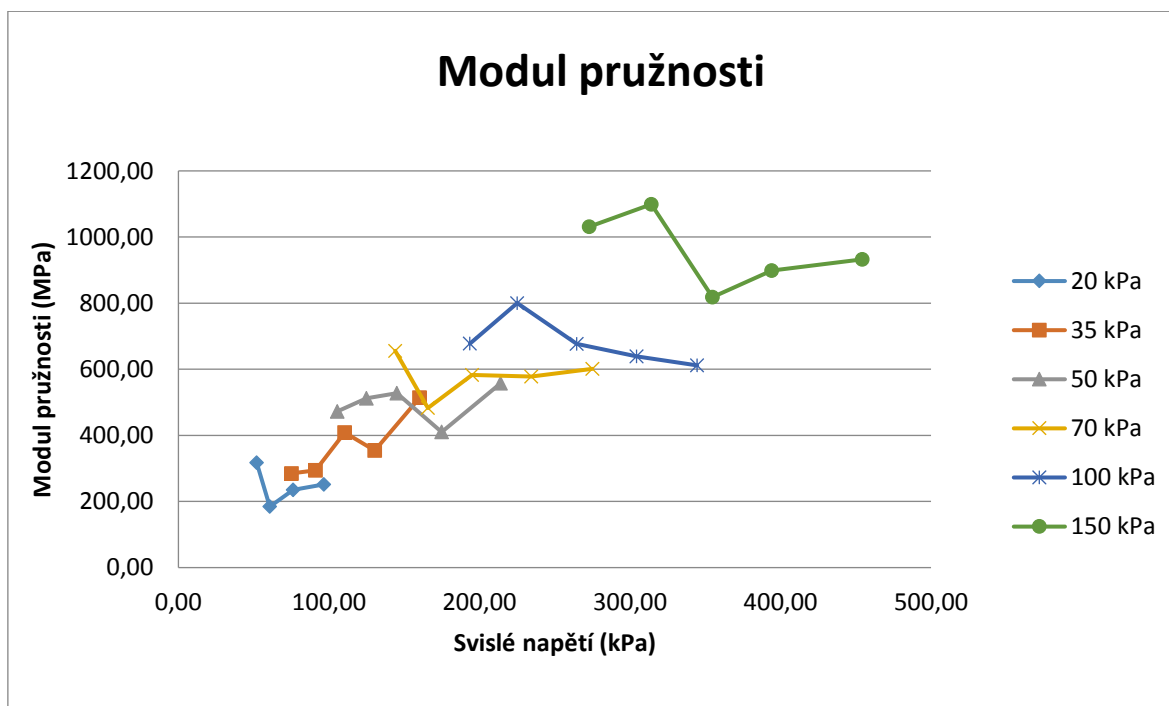
Označení směsi: **SC 0/16; C_{6/8}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{6/8_c} (7 dní)

Výška vzorku: 204 mm



Graf 50: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C_{6/8_c}



Graf 51: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C_{6/8_c}

Označení směsi: **SC 0/16; C_{6/8}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{6/8_d} (28 dní)

Výška vzorku: 202 mm

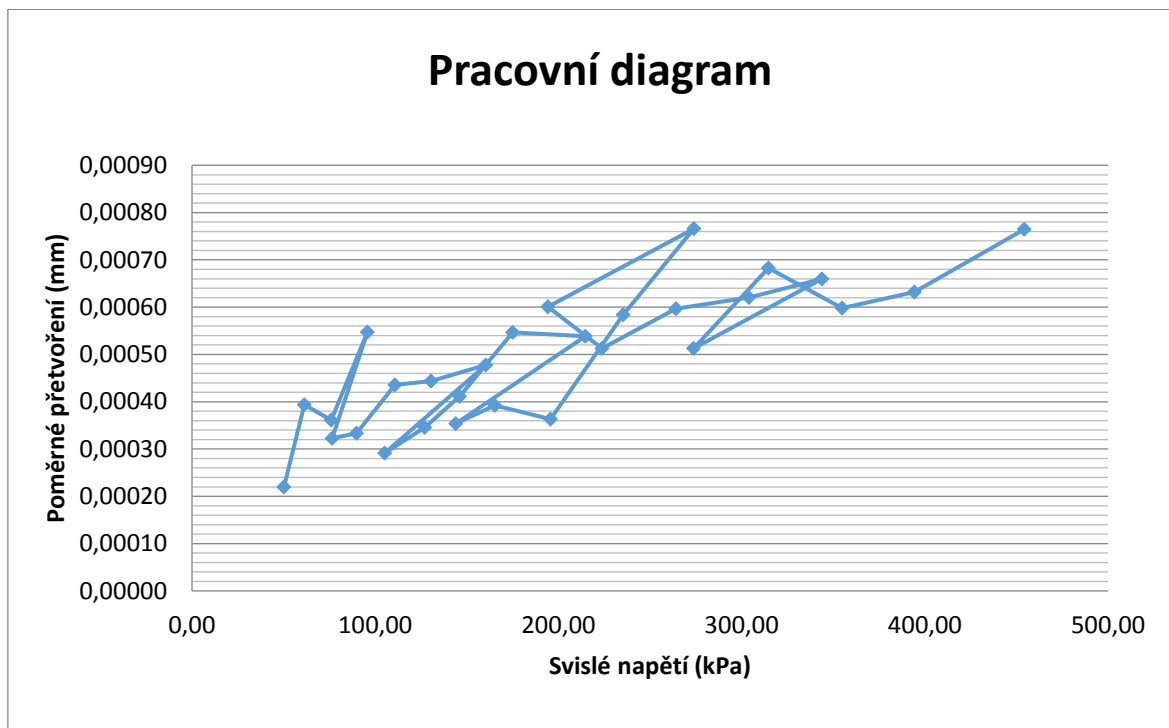
Tabulka 28: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C_{6/8_d}

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	24,50	25,70	50,19	0,00022	228,14
20	35	55	19,75	41,60	61,35	0,00039	155,91
20	50	70	20,28	55,66	75,95	0,00036	210,33
20	70	90	20,01	75,78	95,79	0,00055	174,97
35	35	70	34,19	42,25	76,44	0,00032	237,15
35	50	85	35,17	54,57	89,74	0,00033	268,96
35	70	105	35,46	75,28	110,74	0,00044	254,34
35	90	125	34,89	95,68	130,57	0,00044	294,43
35	120	155	35,18	125,17	160,35	0,00048	335,73
50	50	100	48,87	56,24	105,11	0,00029	360,89
50	70	120	50,44	76,61	127,05	0,00035	367,48
50	90	140	50,06	95,94	146,00	0,00041	354,84
50	120	170	50,10	124,92	175,02	0,00055	319,98
50	160	210	49,98	164,74	214,72	0,00054	398,92
70	70	140	68,99	75,02	144,02	0,00035	407,32
70	90	160	70,09	95,26	165,35	0,00039	421,32
70	120	190	70,11	125,66	195,77	0,00036	539,49
70	160	230	70,44	164,95	235,38	0,00058	403,21
70	200	270	70,06	203,97	274,03	0,00077	357,78
100	90	190	98,83	95,43	194,26	0,00060	323,26
100	120	220	100,04	123,82	223,86	0,00051	436,29
100	160	260	100,34	163,85	264,19	0,00060	442,60
100	200	300	100,10	203,90	303,99	0,00062	490,10
100	240	340	100,14	243,71	343,85	0,00066	520,98
150	120	270	148,60	125,09	273,70	0,00051	533,82
150	160	310	149,97	164,77	314,74	0,00068	460,93
150	200	350	150,14	204,63	354,77	0,00060	593,07
150	240	390	150,16	244,17	394,33	0,00063	624,32
150	300	450	150,32	303,97	454,29	0,00076	594,04

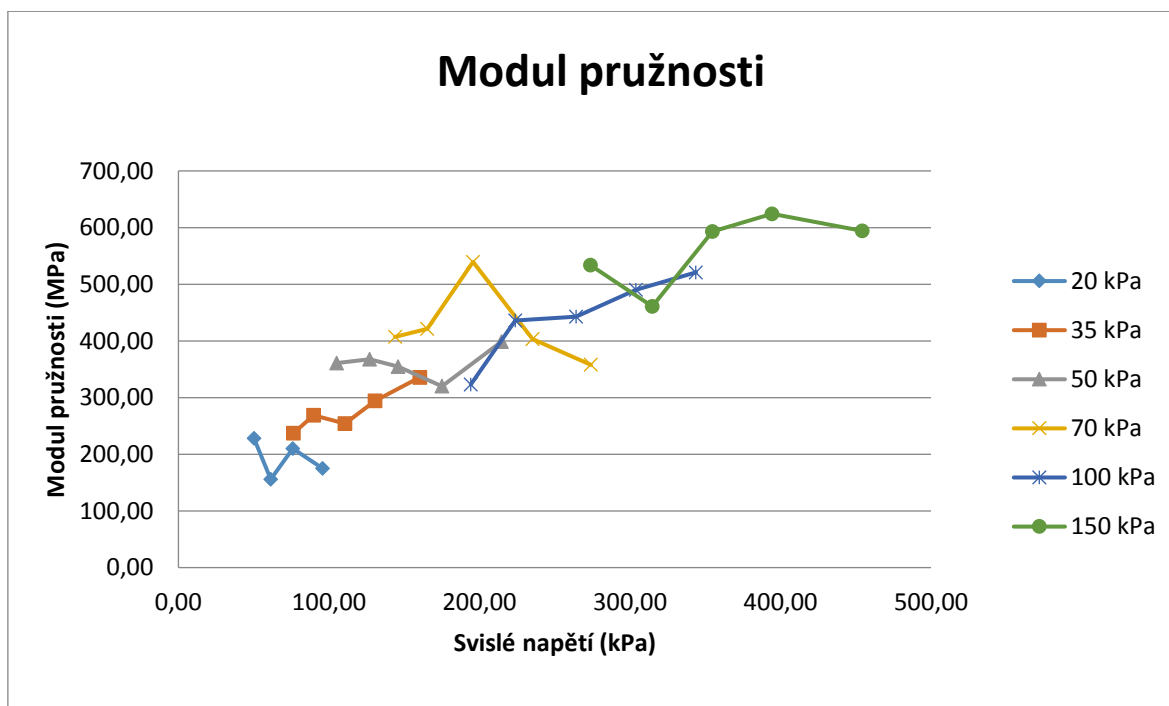
Označení směsi: **SC 0/16; C_{6/8}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{6/8_d} (28 dní)

Výška vzorku: 202 mm



Graf 52: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C_{6/8_d}



Graf 53: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C_{6/8_d}

Označení směsi: **SC 0/16; C_{6/8}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{6/8_e} (28 dní)

Výška vzorku: 200 mm

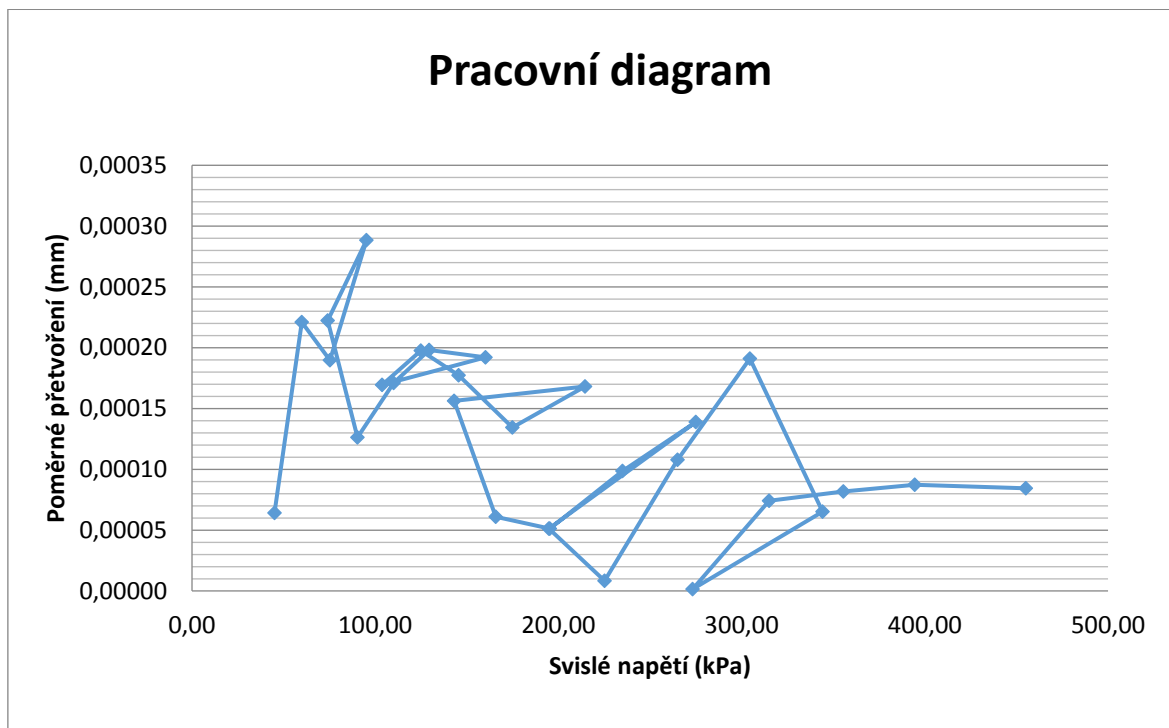
Tabulka 29: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C_{6/8_e}

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	26,32	18,69	45,01	0,00006	700,93
20	35	55	20,04	39,93	59,97	0,00022	271,44
20	50	70	19,91	55,32	75,24	0,00019	396,49
20	70	90	20,09	75,15	95,24	0,00029	330,33
35	35	70	33,88	40,28	74,15	0,00022	333,60
35	50	85	35,01	55,40	90,41	0,00013	716,41
35	70	105	35,33	74,74	110,07	0,00017	643,65
35	90	125	34,79	94,73	129,52	0,00020	654,12
35	120	155	35,16	125,01	160,17	0,00019	834,16
50	50	100	49,22	54,48	103,70	0,00017	612,25
50	70	120	50,10	74,79	124,88	0,00020	632,06
50	90	140	50,07	95,52	145,60	0,00018	820,82
50	120	170	49,99	124,83	174,82	0,00013	1300,28
50	160	210	50,26	164,37	214,63	0,00017	1276,79
70	70	140	69,05	74,04	143,09	0,00016	915,43
70	90	160	69,95	95,86	165,81	0,00006	2722,43
70	120	190	70,31	125,06	195,37	0,00005	3812,29
70	160	230	69,93	165,05	234,97	0,00010	2381,27
70	200	270	70,16	204,86	275,02	0,00014	1980,08
100	90	190	98,77	96,03	194,80	0,00005	3796,48
100	120	220	100,15	124,99	225,14	0,00001	
100	160	260	100,21	164,77	264,98	0,00011	2457,48
100	200	300	100,08	204,54	304,61	0,00019	1593,83
100	240	340	100,01	244,25	344,26	0,00007	5275,93
150	120	270	148,31	124,99	273,30	0,00000	
150	160	310	150,20	164,87	315,06	0,00007	4244,08
150	200	350	150,11	205,48	355,59	0,00008	4355,18
150	240	390	149,90	244,58	394,48	0,00009	4516,05
150	300	450	150,12	304,96	455,08	0,00008	5388,79

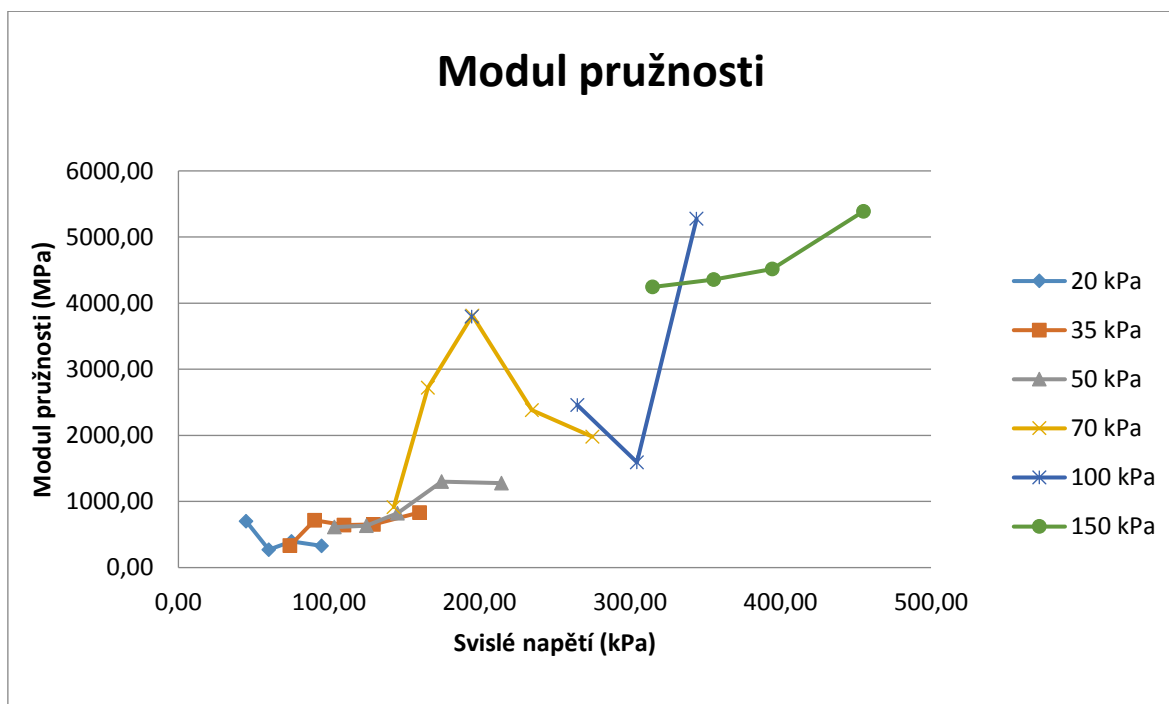
Označení směsi: **SC 0/16; C_{6/8}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{6/8_e} (28 dní)

Výška vzorku: 200 mm



Graf 54: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C_{6/8_e}



Graf 55: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C_{6/8_e}

Označení směsi: **SC 0/16; C_{6/8}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{6/8_f} (28 dní)

Výška vzorku: 204 mm

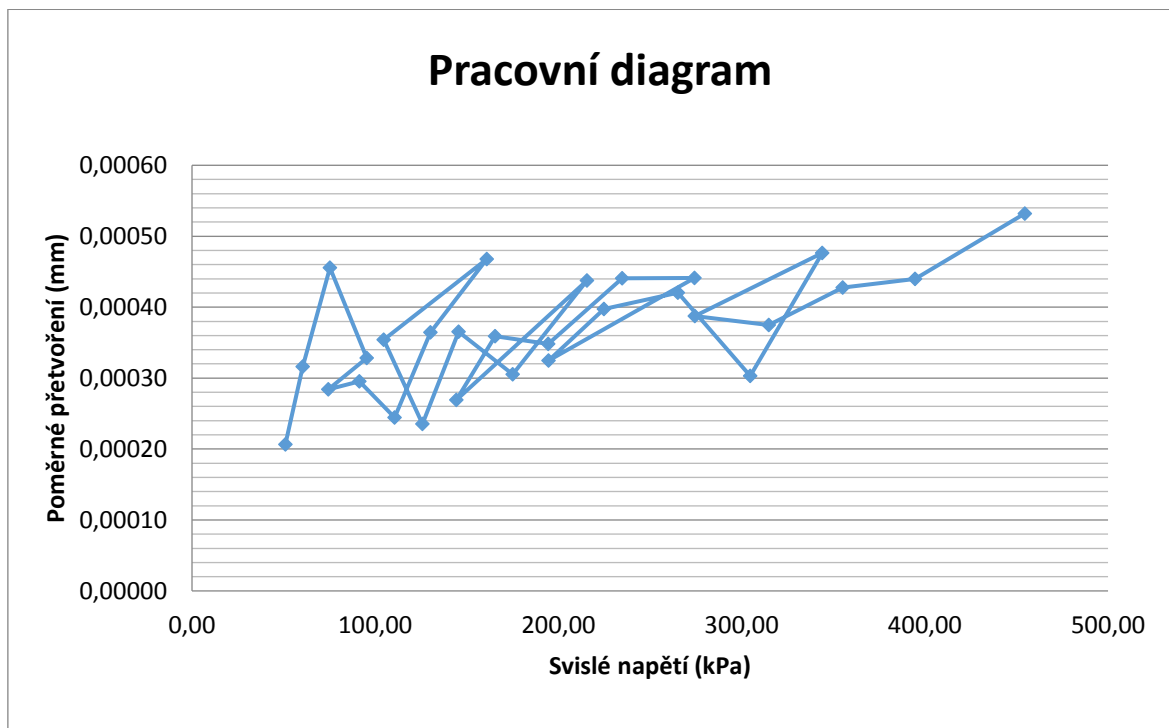
Tabulka 30: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C_{6/8_f}

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,28	25,68	50,96	0,00021	246,67
20	35	55	20,07	40,35	60,42	0,00032	191,19
20	50	70	19,84	55,40	75,24	0,00046	165,09
20	70	90	19,98	75,45	95,42	0,00033	290,64
35	35	70	33,62	40,81	74,44	0,00028	262,01
35	50	85	35,35	55,94	91,29	0,00030	309,10
35	70	105	34,83	75,70	110,52	0,00024	452,18
35	90	125	34,86	95,27	130,13	0,00036	357,08
35	120	155	35,16	125,83	160,99	0,00047	344,03
50	50	100	49,51	55,17	104,68	0,00035	295,55
50	70	120	50,12	75,68	125,80	0,00024	534,55
50	90	140	49,90	95,62	145,52	0,00037	398,12
50	120	170	49,91	125,11	175,02	0,00031	573,26
50	160	210	50,35	165,27	215,62	0,00044	492,58
70	70	140	68,83	75,45	144,28	0,00027	535,63
70	90	160	70,24	95,20	165,44	0,00036	460,84
70	120	190	70,16	124,37	194,53	0,00035	558,53
70	160	230	69,85	164,89	234,74	0,00044	532,61
70	200	270	69,95	204,31	274,26	0,00044	621,84
100	90	190	99,21	95,45	194,67	0,00032	599,28
100	120	220	99,92	124,93	224,85	0,00040	565,58
100	160	260	100,15	165,09	265,24	0,00042	630,89
100	200	300	100,10	204,65	304,74	0,00030	1005,63
100	240	340	99,93	244,11	344,04	0,00048	722,32
150	120	270	148,37	126,04	274,42	0,00039	708,11
150	160	310	150,26	164,65	314,91	0,00037	839,96
150	200	350	150,16	204,99	355,15	0,00043	830,26
150	240	390	150,02	244,65	394,67	0,00044	897,82
150	300	450	150,10	304,51	454,60	0,00053	854,40

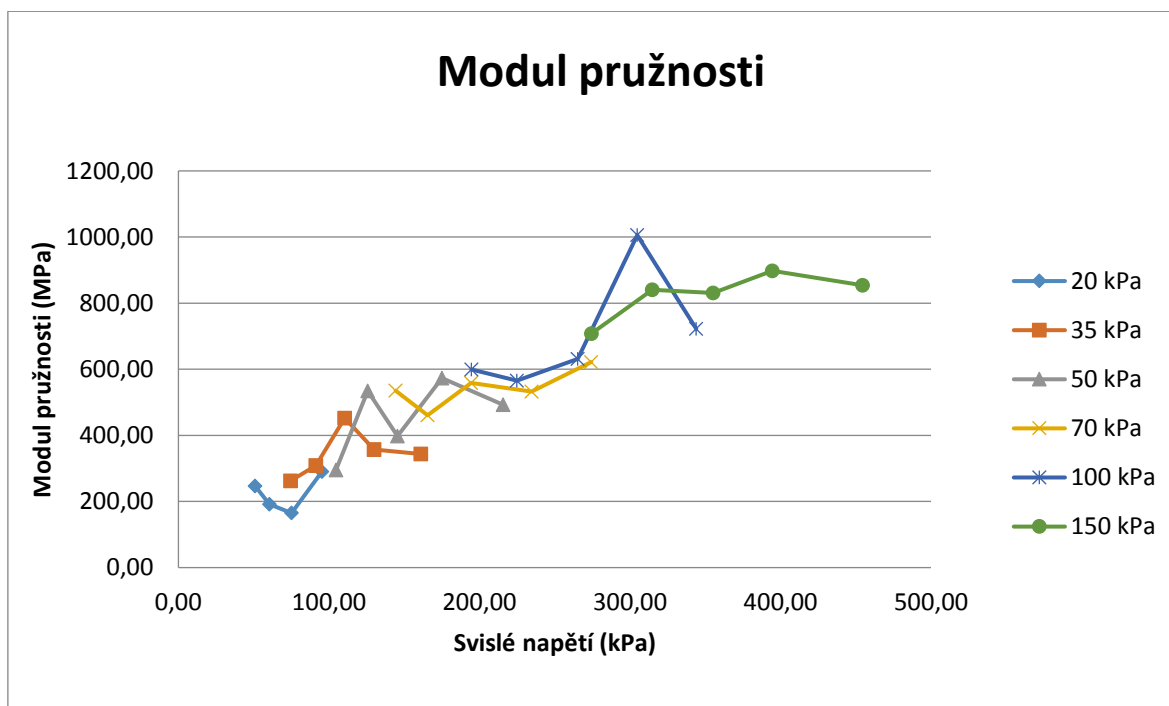
Označení směsi: **SC 0/16; C_{6/8}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{6/8}_f (28 dní)

Výška vzorku: 204 mm



Graf 56: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C_{6/8}_f



Graf 57: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C_{6/8}_f

Označení směsi: **SC 0/16; C_{9/12}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{9/12_a} (7 dní)

Výška vzorku: 196 mm

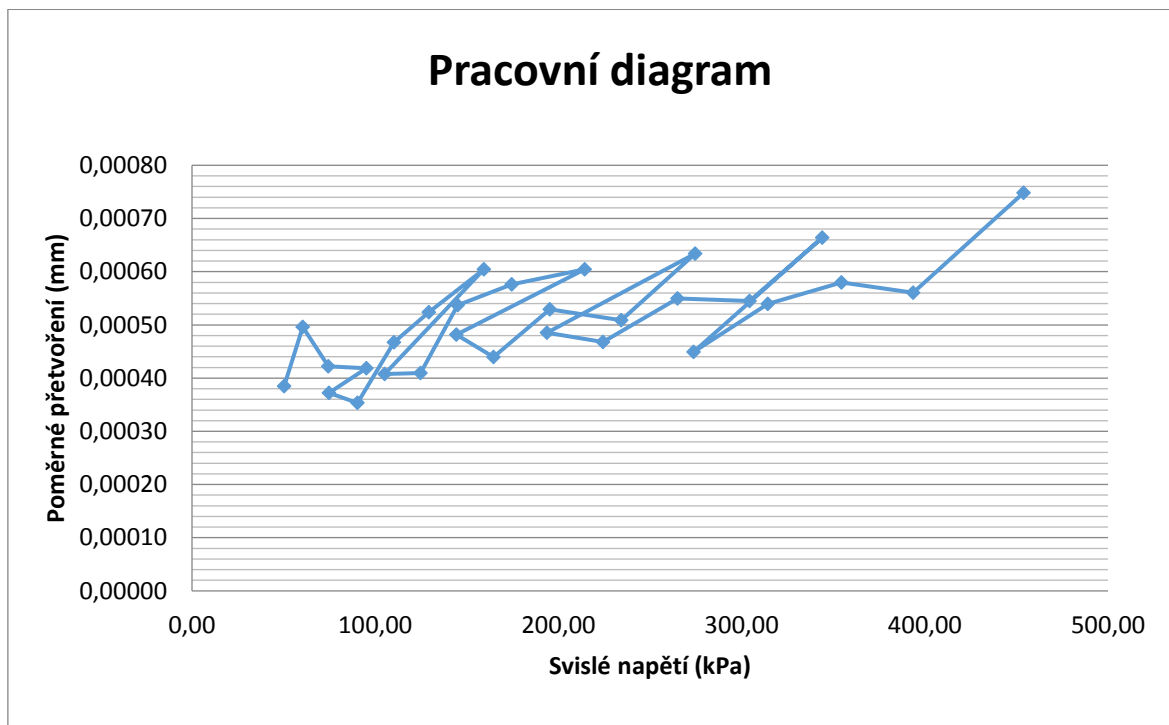
Tabulka 31: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C_{9/12_a}

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	23,86	26,43	50,29	0,00039	130,60
20	35	55	20,65	39,88	60,53	0,00050	122,04
20	50	70	19,62	54,75	74,37	0,00042	176,11
20	70	90	20,00	75,13	95,14	0,00042	227,15
35	35	70	34,46	40,25	74,71	0,00037	200,72
35	50	85	35,02	55,34	90,36	0,00035	255,78
35	70	105	35,28	74,88	110,16	0,00047	235,69
35	90	125	34,83	94,45	129,28	0,00052	246,70
35	120	155	35,07	124,34	159,41	0,00060	263,69
50	50	100	49,70	55,53	105,23	0,00041	258,11
50	70	120	49,87	74,89	124,77	0,00041	304,78
50	90	140	50,07	94,94	145,01	0,00054	270,11
50	120	170	50,23	124,36	174,59	0,00058	302,88
50	160	210	50,14	164,31	214,45	0,00060	354,81
70	70	140	69,09	75,17	144,26	0,00048	299,38
70	90	160	70,11	94,44	164,55	0,00044	374,08
70	120	190	70,16	125,12	195,28	0,00053	369,04
70	160	230	69,98	164,40	234,38	0,00051	460,94
70	200	270	70,23	204,34	274,57	0,00063	433,13
100	90	190	98,98	94,71	193,69	0,00049	398,90
100	120	220	100,01	124,40	224,42	0,00047	479,66
100	160	260	100,27	164,82	265,08	0,00055	482,29
100	200	300	99,95	204,43	304,38	0,00054	558,84
100	240	340	99,98	244,02	343,99	0,00066	518,12
150	120	270	148,79	124,99	273,78	0,00045	609,55
150	160	310	150,00	164,34	314,34	0,00054	582,86
150	200	350	150,29	204,13	354,42	0,00058	611,30
150	240	390	149,87	243,70	393,57	0,00056	701,97
150	300	450	149,97	303,93	453,90	0,00075	606,58

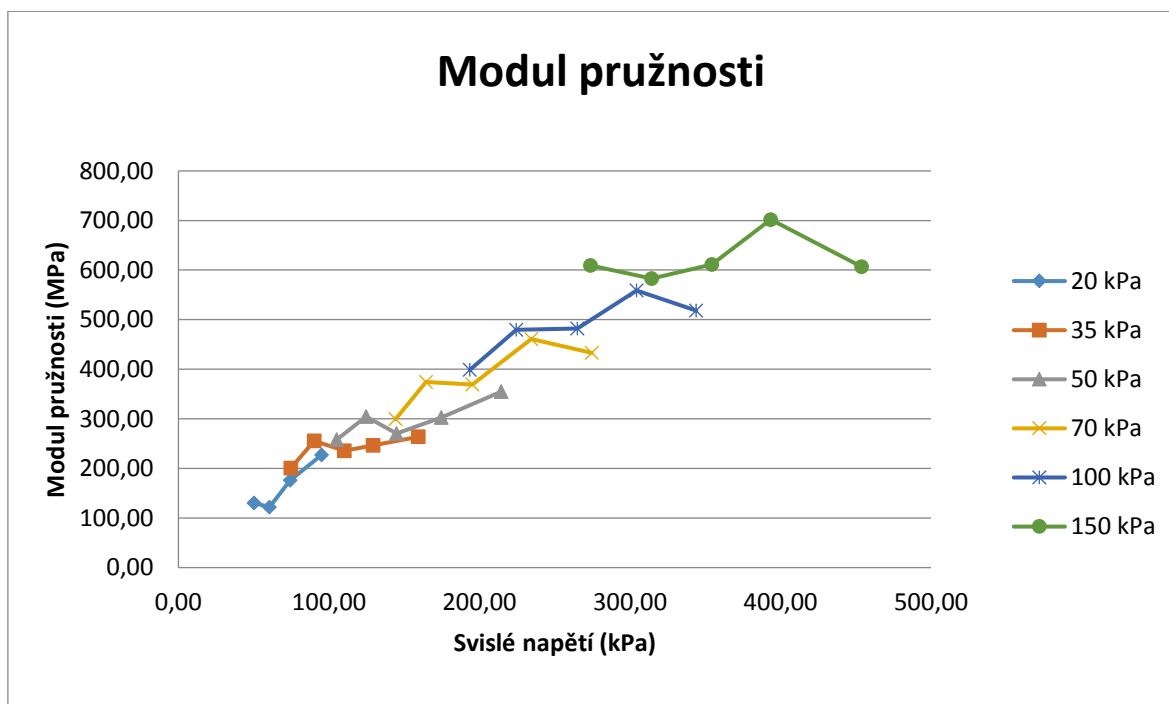
Označení směsi: **SC 0/16; C_{9/12}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{9/12_a} (7 dní)

Výška vzorku: 196 mm



Graf 58: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C_{9/12_a}



Graf 59: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C_{9/12_a}

Označení směsi: **SC 0/16; C_{9/12}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{9/12_b} (7 dní)

Výška vzorku: 196 mm

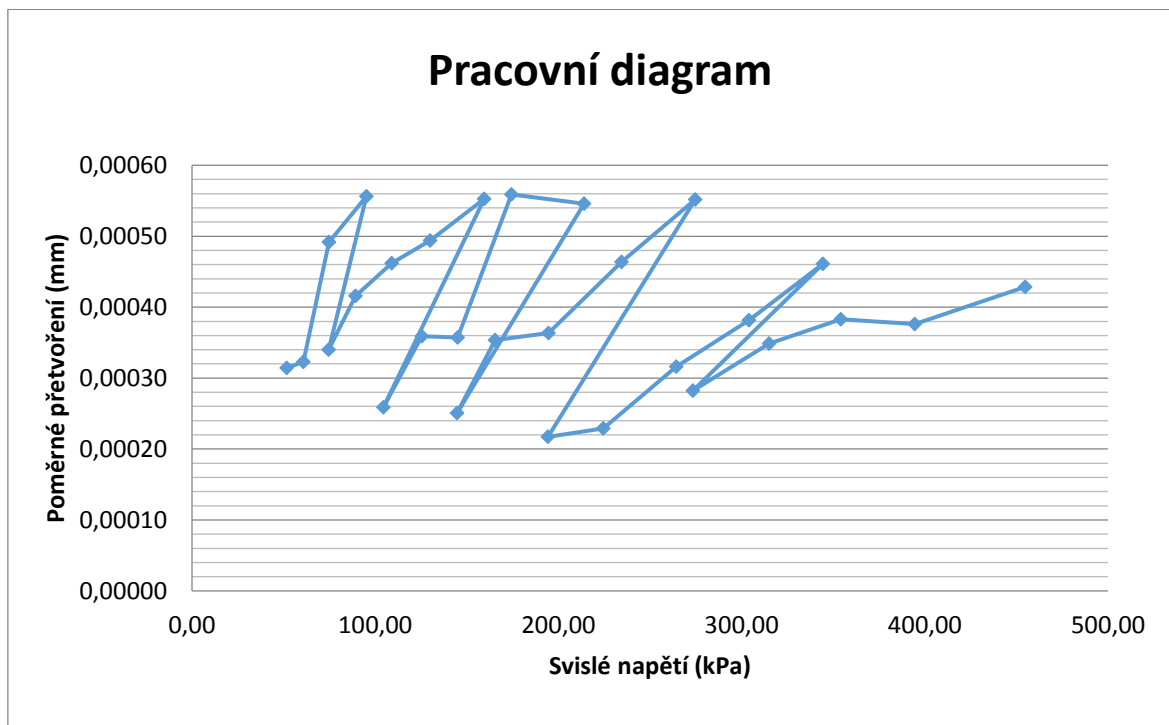
Tabulka 32: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C_{9/12_b}

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	24,68	27,10	51,78	0,00031	164,80
20	35	55	20,17	40,68	60,85	0,00032	188,43
20	50	70	19,92	54,92	74,84	0,00049	152,19
20	70	90	20,26	75,02	95,28	0,00056	171,23
35	35	70	34,04	40,48	74,52	0,00034	219,21
35	50	85	35,07	54,28	89,35	0,00042	214,86
35	70	105	34,85	74,15	109,00	0,00046	235,94
35	90	125	35,31	94,75	130,06	0,00049	263,33
35	120	155	35,09	124,47	159,56	0,00055	288,70
50	50	100	49,17	55,39	104,56	0,00026	403,94
50	70	120	50,11	75,29	125,39	0,00036	349,38
50	90	140	50,14	94,85	144,99	0,00036	406,00
50	120	170	49,87	124,48	174,35	0,00056	311,97
50	160	210	50,04	163,95	213,99	0,00055	391,98
70	70	140	69,36	75,33	144,69	0,00025	577,33
70	90	160	70,03	95,49	165,52	0,00035	468,34
70	120	190	70,27	124,36	194,63	0,00036	535,64
70	160	230	69,85	164,64	234,49	0,00046	505,60
70	200	270	70,20	204,49	274,68	0,00055	497,74
100	90	190	98,96	95,40	194,36	0,00022	894,90
100	120	220	100,03	124,51	224,54	0,00023	980,57
100	160	260	100,26	164,09	264,35	0,00032	836,33
100	200	300	99,92	204,05	303,97	0,00038	796,18
100	240	340	100,22	244,19	344,41	0,00046	747,21
150	120	270	148,47	124,91	273,37	0,00028	967,90
150	160	310	150,23	164,71	314,94	0,00035	902,87
150	200	350	149,90	204,20	354,10	0,00038	924,27
150	240	390	150,12	244,43	394,55	0,00038	1049,03
150	300	450	150,14	304,62	454,76	0,00043	1060,73

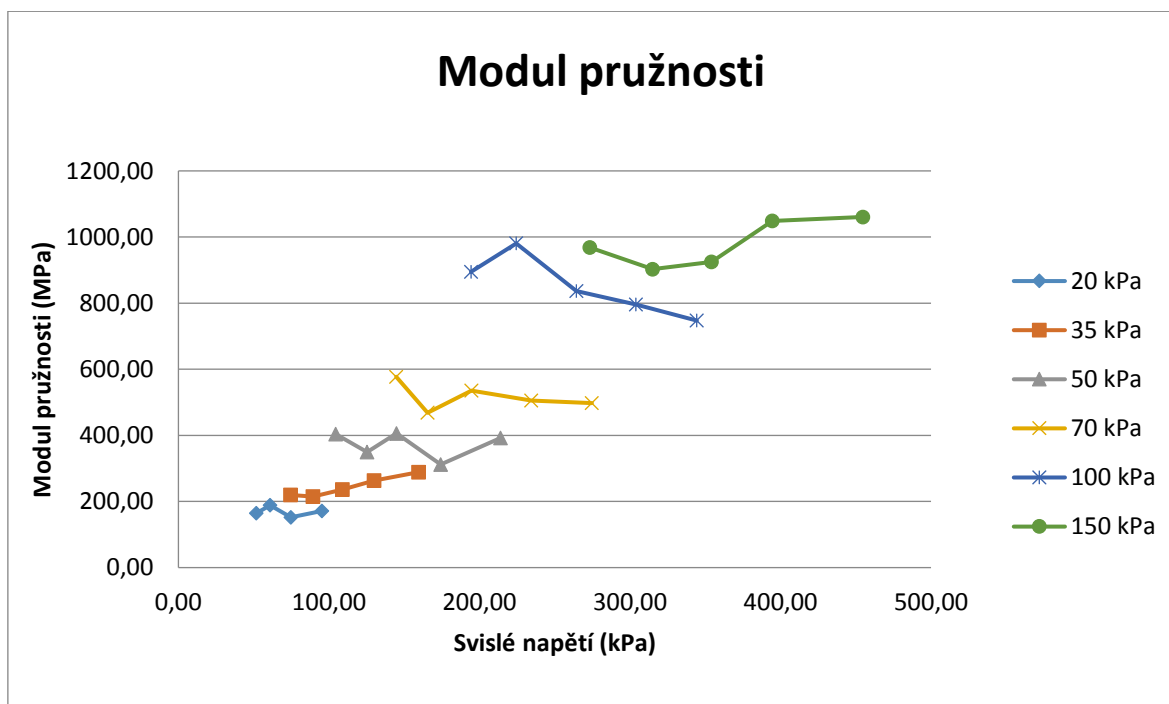
Označení směsi: **SC 0/16; C_{9/12}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{9/12_b} (7 dní)

Výška vzorku: 196 mm



Graf 60: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C_{9/12_b}



Graf 61: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C_{9/12_b}

Označení směsi: **SC 0/16; C_{9/12}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{9/12_c} (7 dní)

Výška vzorku: 204 mm

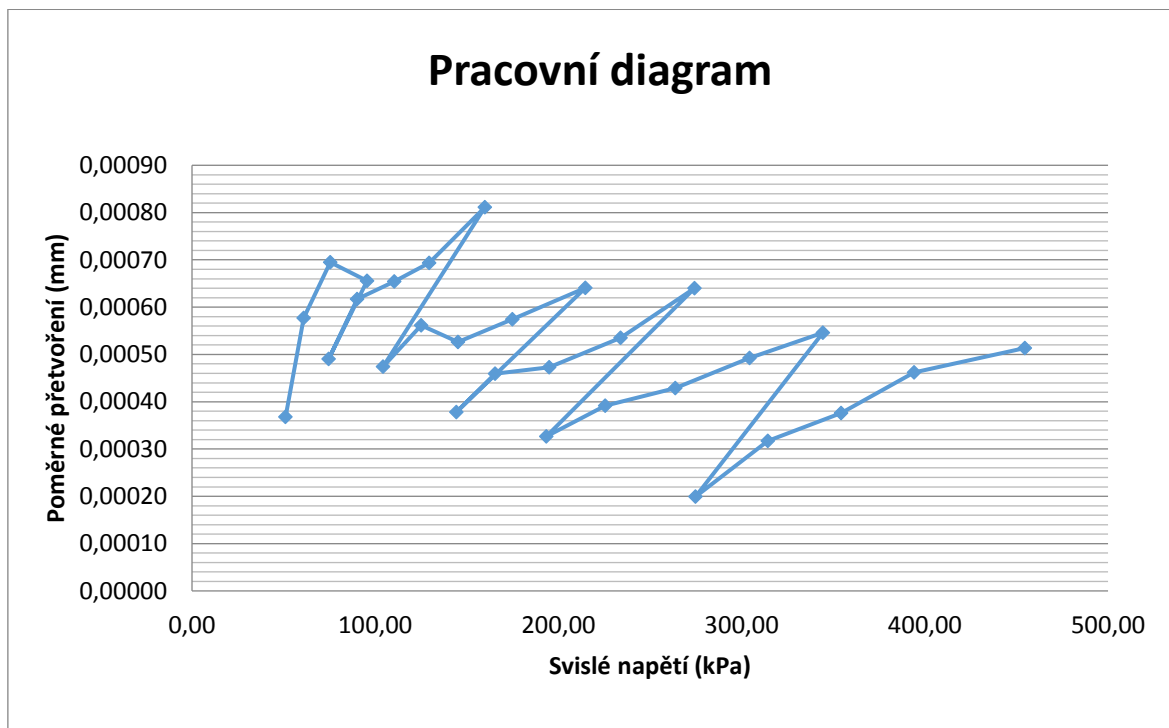
Tabulka 33: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C_{9/12_c}

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	24,49	26,58	51,07	0,00037	138,85
20	35	55	19,74	41,16	60,90	0,00058	105,55
20	50	70	19,96	55,59	75,55	0,00069	108,73
20	70	90	20,00	75,49	95,50	0,00066	145,60
35	35	70	34,33	40,28	74,61	0,00049	152,20
35	50	85	35,17	54,95	90,12	0,00062	146,01
35	70	105	35,14	75,22	110,37	0,00065	168,67
35	90	125	35,08	94,31	129,39	0,00069	186,49
35	120	155	35,04	124,81	159,84	0,00081	197,06
50	50	100	49,29	55,07	104,36	0,00047	220,03
50	70	120	49,88	75,13	125,02	0,00056	222,55
50	90	140	50,09	95,02	145,11	0,00053	275,71
50	120	170	50,02	124,93	174,95	0,00057	304,47
50	160	210	50,10	164,63	214,72	0,00064	335,19
70	70	140	69,33	74,99	144,32	0,00038	381,37
70	90	160	70,11	95,37	165,48	0,00046	360,49
70	120	190	69,91	125,08	194,99	0,00047	412,32
70	160	230	70,02	163,87	233,89	0,00054	437,09
70	200	270	70,21	204,16	274,37	0,00064	428,67
100	90	190	98,87	94,48	193,35	0,00033	591,56
100	120	220	100,25	125,22	225,48	0,00039	575,73
100	160	260	99,90	164,00	263,90	0,00043	615,05
100	200	300	99,99	204,41	304,40	0,00049	618,22
100	240	340	100,01	244,29	344,30	0,00055	630,98
150	120	270	148,79	126,01	274,80	0,00020	1379,37
150	160	310	150,00	164,37	314,37	0,00032	991,97
150	200	350	150,08	204,33	354,40	0,00038	942,60
150	240	390	149,80	244,39	394,19	0,00046	852,86
150	300	450	150,27	304,31	454,58	0,00051	885,29

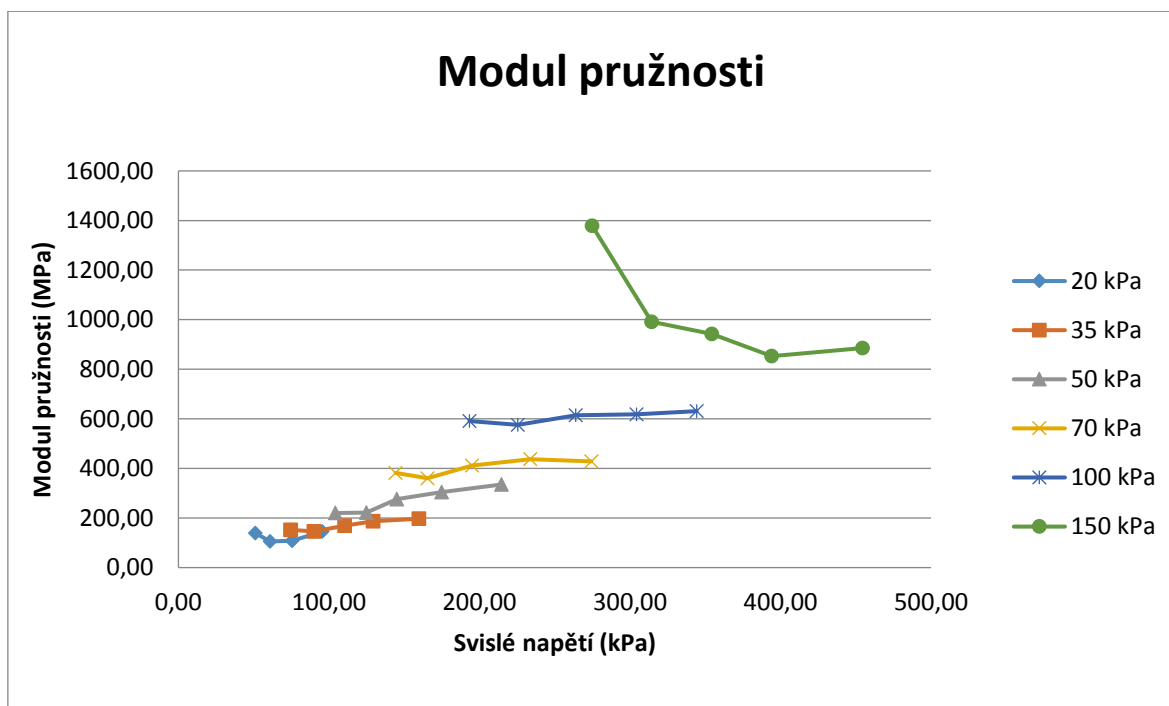
Označení směsi: **SC 0/16; C_{9/12}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{9/12_c} (7 dní)

Výška vzorku: 204 mm



Graf 62: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C_{9/12_c}



Graf 63: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C_{9/12_c}

Označení směsi: **SC 0/16; C_{9/12}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{9/12_d} (28 dní)

Výška vzorku: 204 mm

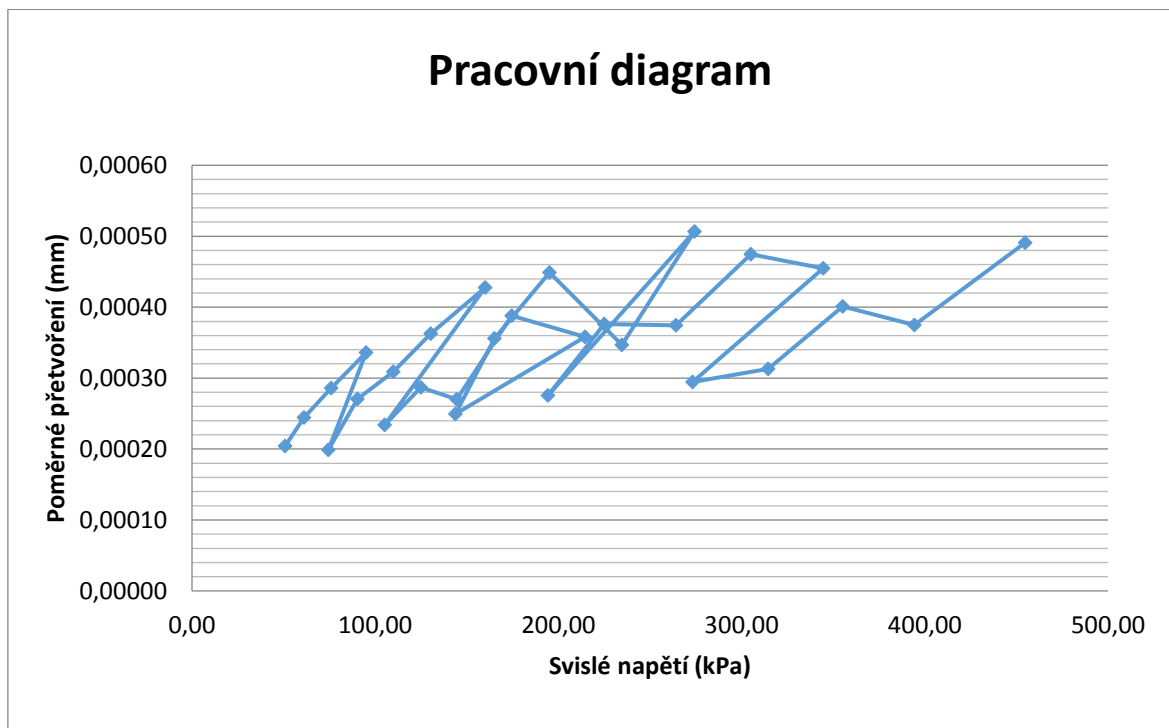
Tabulka 34: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C_{9/12_d}

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,16	25,70	50,86	0,00020	248,75
20	35	55	19,88	41,20	61,08	0,00024	250,09
20	50	70	20,32	55,64	75,96	0,00029	265,48
20	70	90	20,04	75,02	95,06	0,00034	282,81
35	35	70	33,90	40,44	74,35	0,00020	373,98
35	50	85	35,02	55,33	90,35	0,00027	334,02
35	70	105	35,14	74,77	109,91	0,00031	356,01
35	90	125	35,01	95,31	130,32	0,00036	359,54
35	120	155	35,08	124,89	159,97	0,00043	374,29
50	50	100	49,53	55,72	105,25	0,00023	449,70
50	70	120	49,76	75,11	124,87	0,00029	435,15
50	90	140	50,14	94,41	144,56	0,00027	535,00
50	120	170	49,97	124,51	174,47	0,00039	449,54
50	160	210	50,04	164,58	214,62	0,00036	599,10
70	70	140	69,40	74,45	143,86	0,00025	576,50
70	90	160	70,05	95,01	165,06	0,00036	463,77
70	120	190	70,00	125,08	195,08	0,00045	434,55
70	160	230	70,15	164,52	234,67	0,00035	676,39
70	200	270	70,06	204,28	274,34	0,00051	541,33
100	90	190	98,80	95,55	194,36	0,00028	705,68
100	120	220	100,18	124,85	225,03	0,00038	598,27
100	160	260	100,00	164,18	264,18	0,00037	706,02
100	200	300	99,99	205,10	305,09	0,00047	643,12
100	240	340	99,93	244,63	344,57	0,00045	757,96
150	120	270	148,46	124,75	273,21	0,00029	927,96
150	160	310	150,09	164,34	314,43	0,00031	1004,66
150	200	350	150,15	205,06	355,21	0,00040	886,17
150	240	390	149,81	244,61	394,41	0,00037	1052,09
150	300	450	150,19	304,56	454,75	0,00049	926,72

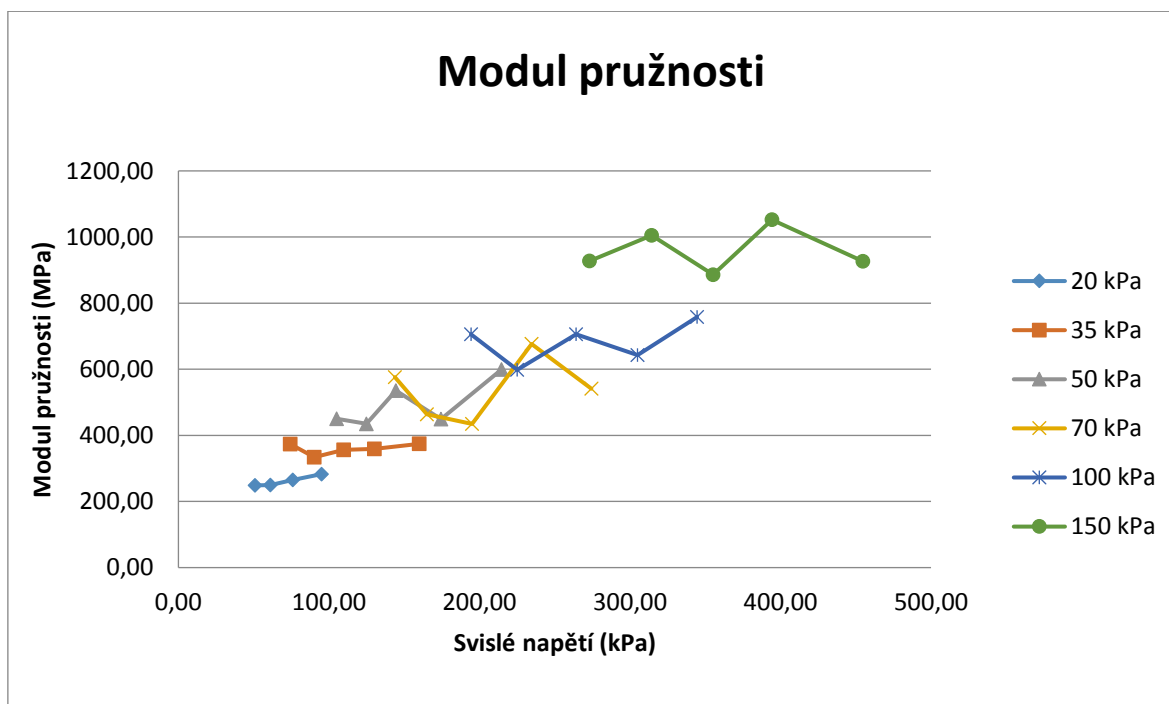
Označení směsi: **SC 0/16; C_{9/12}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{9/12_d} (28 dní)

Výška vzorku: 204 mm



Graf 64: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C_{9/12_d}



Graf 65: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C_{9/12_d}

Označení směsi: **SC 0/16; C_{9/12}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{9/12_e} (28 dní)

Výška vzorku: 204 mm

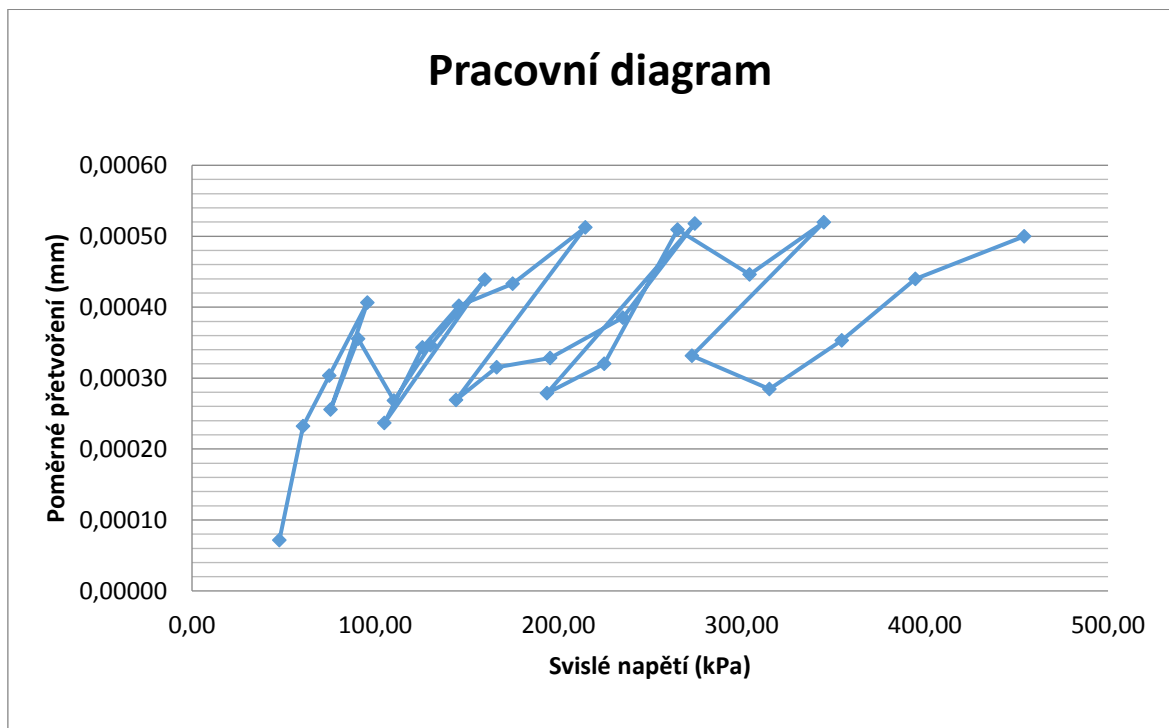
Tabulka 35: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C_{9/12_e}

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,62	22,08	47,70	0,00007	667,81
20	35	55	20,43	40,18	60,61	0,00023	260,88
20	50	70	19,68	55,23	74,91	0,00030	246,94
20	70	90	20,00	75,76	95,76	0,00041	235,52
35	35	70	34,54	41,05	75,59	0,00026	295,39
35	50	85	35,01	55,68	90,69	0,00036	255,22
35	70	105	34,96	75,36	110,32	0,00027	411,12
35	90	125	35,14	95,08	130,21	0,00035	375,76
35	120	155	35,09	124,77	159,86	0,00044	364,05
50	50	100	49,46	55,56	105,02	0,00024	443,86
50	70	120	50,10	75,77	125,87	0,00034	366,72
50	90	140	50,18	95,54	145,72	0,00040	362,51
50	120	170	49,97	125,12	175,08	0,00043	404,15
50	160	210	50,10	164,58	214,68	0,00051	418,83
70	70	140	69,30	74,88	144,17	0,00027	535,18
70	90	160	70,09	96,22	166,31	0,00032	527,78
70	120	190	69,91	125,53	195,44	0,00033	595,14
70	160	230	70,22	165,04	235,26	0,00039	610,72
70	200	270	70,13	204,35	274,48	0,00052	529,89
100	90	190	98,78	95,07	193,85	0,00028	695,58
100	120	220	100,23	124,83	225,06	0,00032	703,07
100	160	260	100,17	164,81	264,98	0,00051	520,23
100	200	300	100,05	204,37	304,42	0,00045	682,32
100	240	340	100,01	244,96	344,96	0,00052	663,82
150	120	270	148,42	124,44	272,86	0,00033	823,10
150	160	310	149,99	165,25	315,24	0,00028	1107,18
150	200	350	150,11	204,52	354,63	0,00035	1003,80
150	240	390	150,23	244,56	394,78	0,00044	897,62
150	300	450	149,82	304,37	454,19	0,00050	908,59

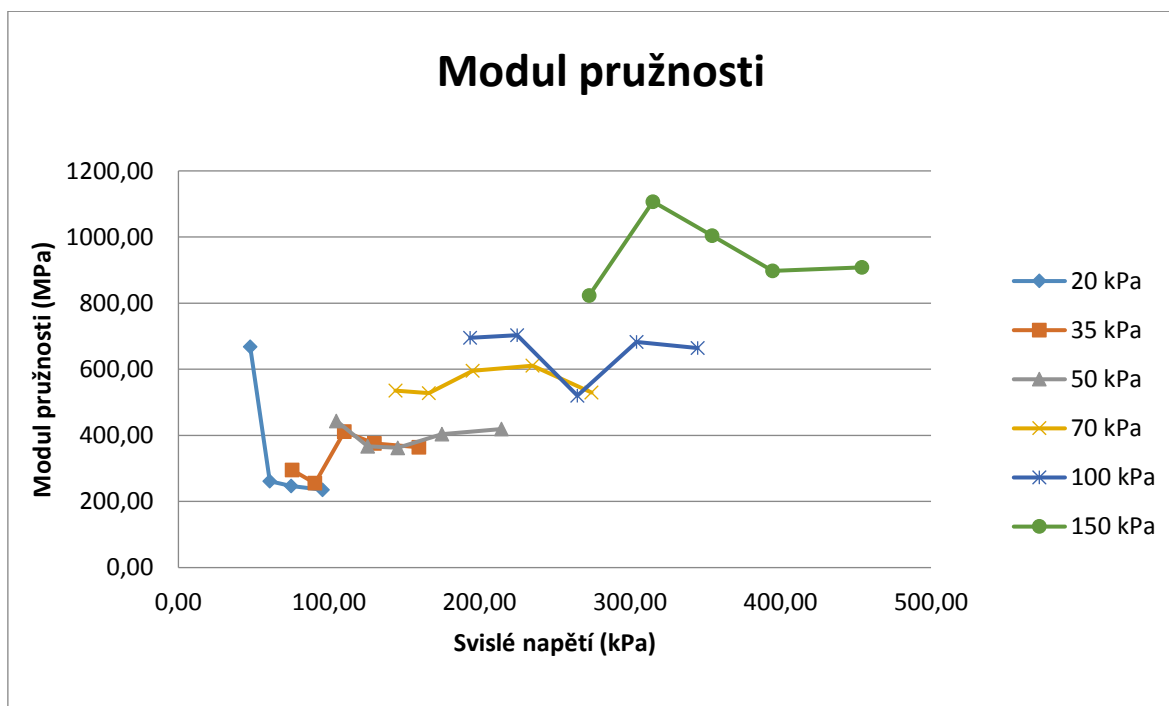
Označení směsi: **SC 0/16; C_{9/12}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{9/12_e} (28 dní)

Výška vzorku: 204 mm



Graf 66: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C_{9/12_e}



Graf 67: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C_{9/12_e}

Označení směsi: **SC 0/16; C_{9/12}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{9/12_f} (28 dní)

Výška vzorku: 196 mm

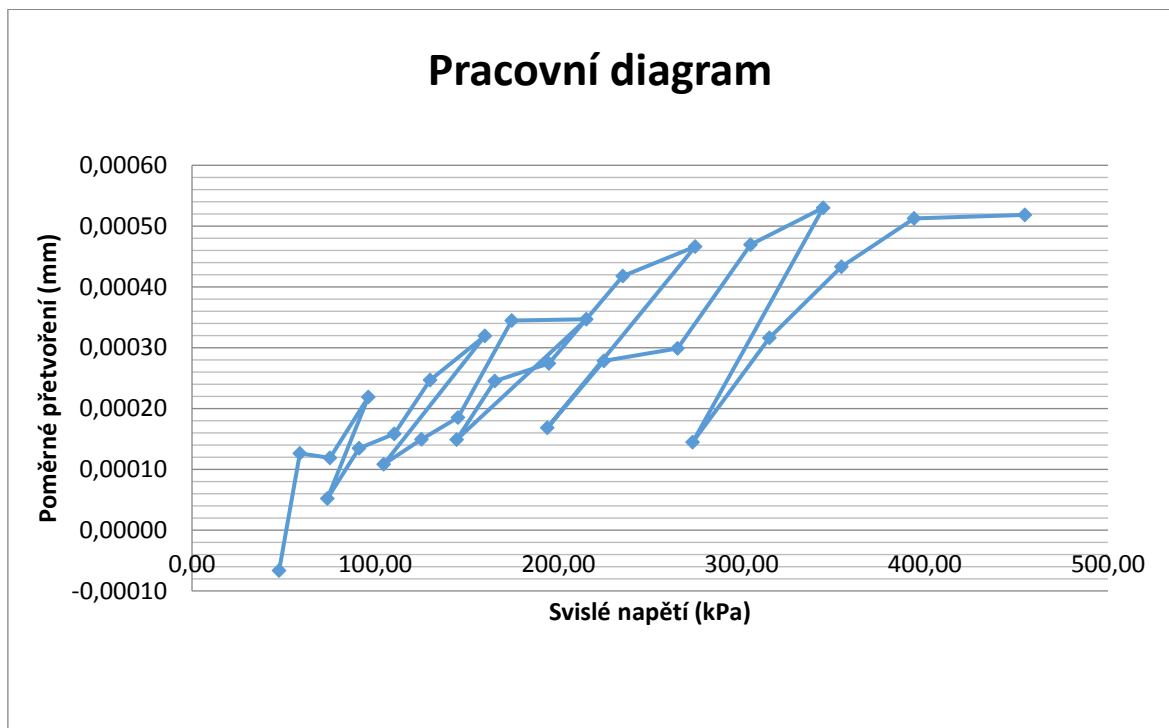
Tabulka 36: Záznam cyklické triaxiální zkoušky vzorku SC 0/16; C_{9/12_f}

normové hodnoty			naměřené hodnoty				
komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	komorový tlak [kPa]	deviátor napětí [kPa]	svislé napětí [kPa]	poměrné přetvoření [-]	modul pružnosti [MPa]
20	20	40	27,29	20,27	47,56	-0,00007	
20	35	55	19,25	39,66	58,92	0,00013	466,45
20	50	70	19,80	55,51	75,31	0,00012	633,01
20	70	90	20,32	75,97	96,29	0,00022	439,55
35	35	70	33,67	40,23	73,90	0,00005	1418,39
35	50	85	35,54	55,59	91,13	0,00013	675,97
35	70	105	34,78	75,64	110,42	0,00016	696,54
35	90	125	35,33	94,59	129,93	0,00025	526,07
35	120	155	35,04	124,89	159,93	0,00032	500,82
50	50	100	49,40	55,28	104,68	0,00011	966,08
50	70	120	50,06	75,14	125,20	0,00015	838,70
50	90	140	49,99	95,11	145,11	0,00019	784,14
50	120	170	49,92	124,55	174,47	0,00034	505,92
50	160	210	50,25	165,08	215,33	0,00035	620,88
70	70	140	69,27	75,18	144,45	0,00015	970,26
70	90	160	69,84	95,39	165,24	0,00025	674,00
70	120	190	70,07	124,67	194,73	0,00027	710,01
70	160	230	70,20	164,96	235,17	0,00042	563,11
70	200	270	70,13	204,58	274,71	0,00047	589,46
100	90	190	98,89	95,05	193,94	0,00017	1151,40
100	120	220	100,10	124,70	224,80	0,00028	807,70
100	160	260	100,13	164,90	265,03	0,00030	886,86
100	200	300	100,05	204,76	304,80	0,00047	649,05
100	240	340	100,21	244,29	344,49	0,00053	649,80
150	120	270	148,50	124,76	273,26	0,00014	1887,34
150	160	310	150,20	165,06	315,26	0,00032	997,15
150	200	350	150,10	204,43	354,54	0,00043	818,98
150	240	390	149,85	244,38	394,24	0,00051	768,72
150	300	450	150,25	304,41	454,66	0,00052	877,41

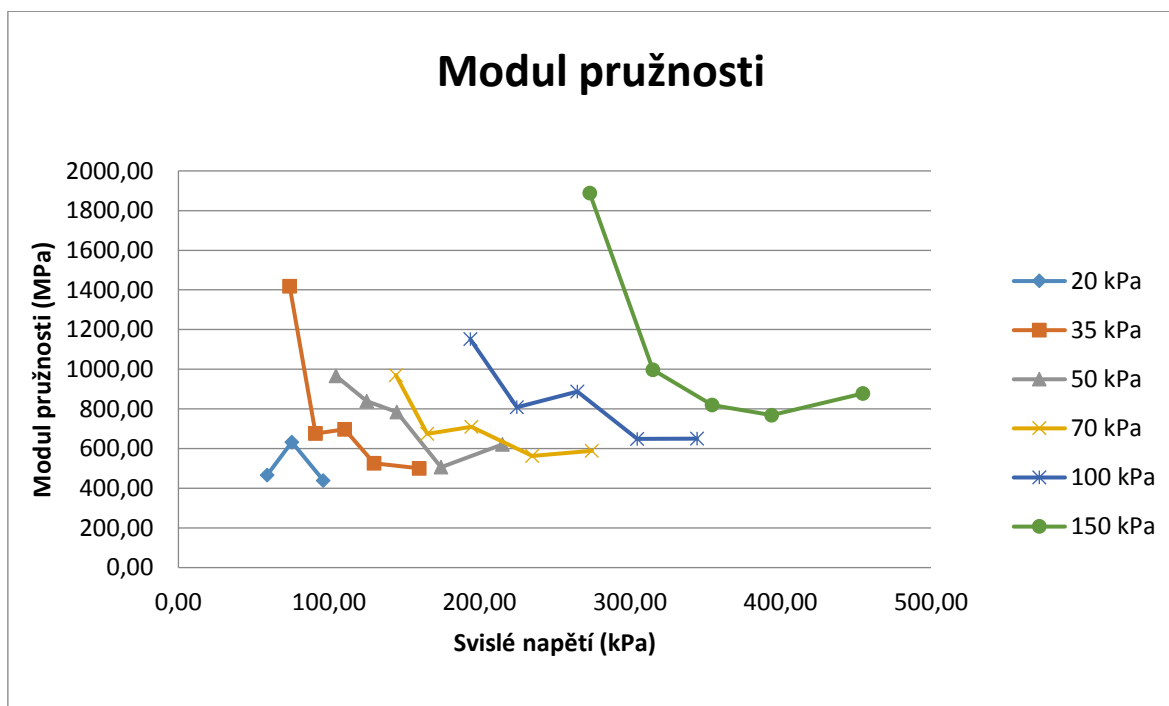
Označení směsi: **SC 0/16; C_{9/12}**

Označení vzorku: SC 0/16; C_{9/12_f} (28 dní)

Výška vzorku: 196 mm



Graf 68: Pracovní diagram vzorku SC 0/16; C_{9/12_f}



Graf 69: Moduly pružnosti E_r vzorku SC 0/16; C_{9/12_f}