



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

**STANOVENÍ MODULŮ PRUŽNOSTI SMĚSÍ PRO
PODKLADNÍ VRSTVY VOZOVEK**

DETERMINATION OF ELASTICITY MODULUS FOR BASE LAYERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

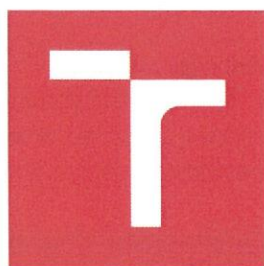
Bc. Urban Hepner

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.

BRNO 2018



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
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Urban Hepner
Název	Stanovení modulů pružnosti směsí pro podkladní vrstvy vozovek
Vedoucí práce	Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017


doc. Dr. Ing. Michal Varauš
Vedoucí ústavu



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

PODKLADY A LITERATURA

ČSN EN 13285 Nestmelené směsi - specifikace

ČSN 73 6126-1 Stavba vozovek - Nestmelené vrstvy- Část 1:Provádění a kontrola shody

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

ČSN EN 13286-7 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 7: Zkouška nestmelených směsí cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji

veřejně přístupné články a literatura z internetu

diplomové práce 2010-2016

výzkumné zprávy, příspěvky z odborných konferencí, apod.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

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 spodních 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 MZ, ŠDb a MZ-R, různé čáry zrnitosti a různé petrografie.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



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

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá experimentálnym stanovením modulu pružnosti cyklickou triaxiálnou skúškou vybraných nestmelených zmesí konštrukčných vrstiev vozovky. Dôvodom je overiť, či návrhové moduly pružnosti v predpise TP 170, ktoré vychádzajú zo štatisticky overených údajov, starých niekoľko desiatok rokov, odpovedajú realite súčasnosti. Ďalej sa práca venuje závislostiam medzi nameranými a vypočítanými hodnotami modulu pružnosti E_r z cyklickej triaxiálnej skúšky a skúškami CBR. Pre klasifikáciu vybraných materiálov sú v práci použité aj ďalšie skúšky ako stanovenie zrnitosti a zhutniteľnosti.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Cyklická triaxiálna skúška, modul pružnosti, konštrukčné vrstvy vozovky, nestmelená zmes, skúška zrnitosti, Kalifornský pomer únosnosti CBR, TP 170

ABSTRACT

The thesis deals with the experimental determination of the resilient modulus using cyclic triaxial test with the selected unbound mixtures of the base course of the pavement. The aim is to verify whether the proposed modulus-resilient in the regulation TP 170 based on the statistically verified data dating several decades ago is still valid in the present. Furthermore, the thesis deals with the dependence between the measured and the calculated values of the modulus resilient M_r from the cyclic triaxial test and the California Bearing Ratio tests. For the classification of the selected materials, further tests are used in the thesis, such as granularity and Proctor compaction tests.

KEYWORDS

Cyclic triaxial test, modulus resilient, pavement course layers, unbound mixture, granularity test, California bearing ratio, TP170

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Urban Hepner *Stanovení modulů pružnosti směsí pro podkladní vrstvy vozovek*.
Brno, 2018. 64s., 44s. 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 12. 1. 2018

Bc. Urban Hepner

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 12. 1. 2018

Bc. Urban Hepner

autor práce

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu práce Ing. Dušanovi Stehlíkovi, Ph.D. za poskytnuté podklady, cenné rady, pripomienky a odborné vedenie pri spracovaní diplomovej práce. Ďalej by som sa rád poďakoval Pavlovi Strakovi za pomoc pri realizácii laboratórnych skúšok.

OBSAH

1 Úvod a cieľ práce	11
2 Teoretická časť.....	12
2.1 Navrhovanie vozoviek	12
2.1.1 Základné princípy navrhovania vozoviek	12
2.1.2 Významné zahraničné skúsenosti s navrhovaním vozoviek	14
2.1.2 Pretvárne vlastnosti	14
2.1.3 Určenie modulu pružnosti z cyklickej triaxiálnej skúšky.....	15
2.1.3 Určenie modulu pružnosti zo skúšky CBR	15
2.1.4 Určenie modulu pružnosti z rázovej zaťažovacej skúšky	17
2.2 Nestmelené podkladové vrstvy	17
2.3 Popis metód laboratórných skúšok.....	20
2.3.1 Sitový rozbor	20
2.3.2 Proctor modifikovaný	21
2.3.3 Kalifornský pomer únosnosti	24
2.4 Cyklická triaxiálna skúška	26
2.4.1 Základný princíp skúšky.....	26
2.4.2 Základné časti triaxiálneho prístroja	29
2.5 Metodika merania pružného chovania	31
2.5.1 Kondicionovanie skúšobného telesa.....	31
2.5.2 Meranie pružného správania metóda A	32
2.5.3 Meranie pružného správania metóda B	33
2.5.4 Viacstupňová metóda zaťažovania	34
3 Praktická časť	35
3.1 Použité materiály a ich klasifikácia.....	35
3.1.1 Sitový rozbor	35
3.1.2 Mechanicky spevnená zemina – Těškov	36
3.1.3 Mechanicky spevnená zemina – Horní Tašovice	37
3.1.4 Štrkodrt' triedy B – Plaňany.....	38
3.1.5 Štrkodrt' triedy A – Libochovany	39
3.1.6 Mechanicky spevnené kamenivo.....	40
3.2 Proctorova skúška	42
3.2.1 Postup skúšky	42

3.2.2	Vyhodnotenie skúšky	43
3.3	Skúška pre stanovenie IBI a CBR.....	44
3.3.1	Postup skúšky	44
3.3.2	Vyhodnotenie skúšky	44
3.4.	Cyklická triaxiálna skúška	47
3.4.1	Príprava skúšobných telies	47
3.4.2	Postup skúšky	49
3.4.3	Vyhodnotenie skúšky	50
3.5	Súhrnné vyhodnotenie skúšok.....	51
3.6	Posúdenie únosnosti skladby vozovky pomocou výpočtového programu.....	52
3.6.1	Posúdenie únosnosti vozovky A.....	52
3.6.2	Posúdenie únosnosti vozovky B.....	54
3.6.3	Posúdenie únosnosti vozovky C.....	55
4	Záver	56
5	Zoznam použitých zdrojov.....	58
6	Zoznam tabuliek	60
7	Zoznam obrázkov	62
8	Zoznam grafov	63
	Príloha A–Podrobné výsledky triaxiálnej skúšky.....	65
	Príloha B–Prehľad výsledkov skúšky IBI	95
	Príloha C–Prehľad výsledkov skúšky CBR	97
	Príloha D–Stanovení zrnitosti.....	100

1 Úvod a cieľ práce

Cestná doprava a jej vývoj je charakterizovaný zvyšujúcim sa počtom motorových vozidiel, čo pôsobí na stav vozoviek deštruktívne. Podľa sledovania stavu vozoviek v uplynulých rokoch sa očakáva výrazný nárast aj v budúcnosti. Pre optimálne potreby dimenzovania sa vyjadrujú pretvárne vlastnosti nestmelených vrstiev modulom pružnosti E_r . Modul pružnosti E_r patrí medzi zásadné parametre pri návrhu konštrukcie vozovky pozemných komunikácií. Modul pružnosti vplýva na celkový výpočet únosnosti a očakávanej doby životnosti vozovky v závislosti na dopravnom zaťažení. Možností jeho určenia je viacero, od výpočtových cez empirické až po merané pomocou laboratórnych funkčných skúšok.

Hlavným cieľom tejto diplomovej práce je stanovenie modulu pružnosti E_r pre vybrané nestmelené zmesi a následne tieto výsledky porovnať s návrhovými hodnotami modulu pružnosti E_r z technických predpisov TP 170 – Navrhování vozovek pozemních komunikací. Dôvodom je overiť, či návrhové moduly pružnosti v predpise TP 170, ktoré vychádzajú zo štatisticky overených údajov, starých niekoľko desiatok rokov, odpovedajú realite súčasnosti, keďže v minulosti bolo ich určenie technicky náročnejšie a nedostupnejšie a z toho dôvodu boli tieto hodnoty vo veľkej miere prevzaté a ovplyvnené zahraničným výskumom zameraným na teoretické modelovanie vrstevnatého polopriestoru vozovky. Ďalej sa práca venuje závislostiam medzi nameranými a vypočítanými hodnotami modulu pružnosti E_r z cyklickej triaxiálnej skúšky a skúškami CBR a IBI. Nakoniec sa práca pokúsi premietnuť zistené rozdiely na troch vzorových vozovkách a zhodnotiť vplyv zistených rozdielov, či už po ekonomickej stránke, ale aj po stránke životnosti a únosnosti vzhľadom na dopravné zaťaženie.

Teoretická časť práce začína uvedením do problematiky navrhovania vozoviek a uvedením kritérií, ktoré je nevyhnutné splniť pre optimálny návrh konštrukcie vozovky. V ďalšej časti sa práca venuje rozdeleniu a vlastnostiam jednotlivých nestmelených zmesí, predstaveniu modulu pružnosti E_r a metódam jeho zistenia. Práca sleduje vzťah medzi výpočtovou hodnotou modulu pružnosti E_r a meranou hodnotou a porovnáva s výsledkami zo zahraničných štúdií. Nakoniec teoretickej časti budú stručne opísané laboratórne skúšky použité v praktickej časti tejto diplomovej práce.

Praktická časť sa venuje laboratórnym skúškam na daných vzorkách nestmelených zmesí, z ktorých štyri boli odobraté z lomov a jedna vzorka mechanicky spevneného kameniva bola namiešaná v laboratórnom prostredí.

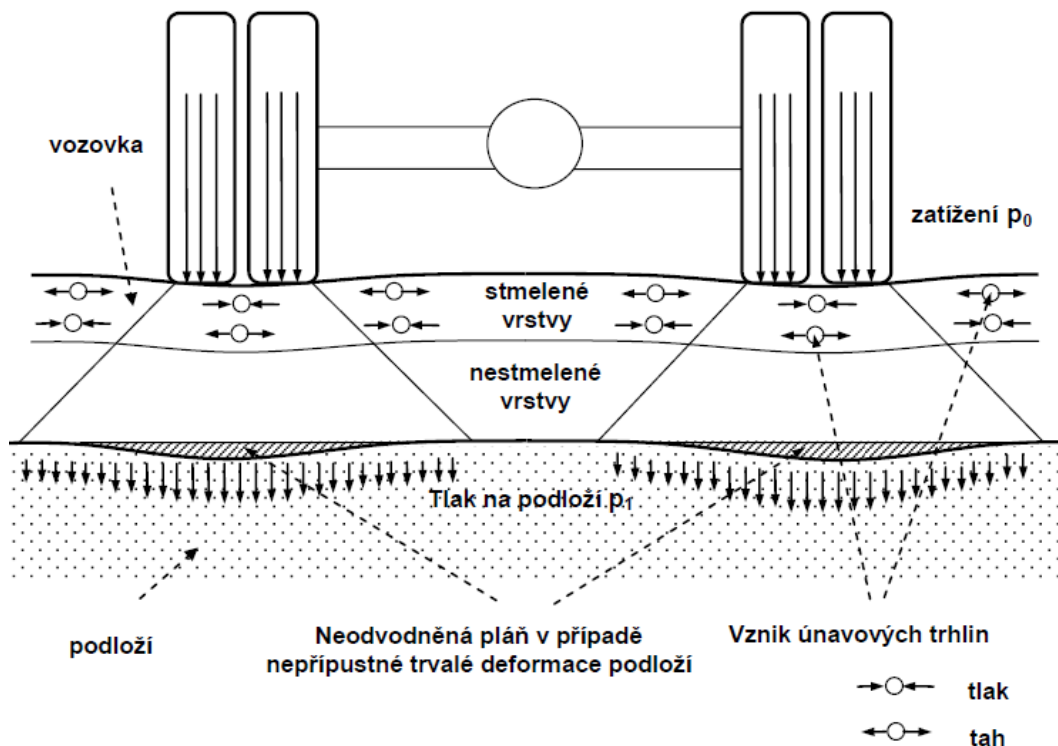
2 Teoretická časť

Predmetom teoretickej časti je všeobecné predstavenie problematiky navrhovania vozoviek pozemných komunikácií. V prvej časti sa práca venuje rozdeleniu a vlastnostiam jednotlivých nestmelených zmesí, predstaveniu modulu pružnosti E_r a metódam jeho zistenia s použitím českých a zahraničných informačných zdrojov.

2.1 Navrhovanie vozoviek

2.1.1 Základné princípy navrhovania vozoviek

Na konštrukciu vozovky pôsobí predovšetkým dopravné zaťaženie a účinky od klímy a počasia. Dopravné zaťaženie definujeme maximálnou silou pôsobiacou na nápravu, dotykovým tlakom, rozmiestnením a geometrickým usporiadaním pneumatík na náprave. Vplyv zaťaženia na konštrukciu vozovky sú znázornené na Obrázku 1.



Obrázok 1: Znázornenie pôsobenia zaťaženia na konštrukciu vozovky a podložia vozovky[7]

2.1.2 Významné zahraničné skúsenosti s navrhovaním vozoviek

Bolo vyvinuté nespočetné množstvo metód na meranie deformačných vlastností podkladových vrstiev vo vozovke. Veľmi dobre známy je Kalifornský pomer únosnosti, ktorý je široko používaný po celom svete. Bol vyvinutý v roku 1930. Bol určený na testovanie materiálu podložia obsahujúcich častice až do veľkosti 19 mm. Existuje niekoľko noriem pre túto metódu. Jedna pochádza z Anglicka (BS 1377), dve z Ameriky (AASHTO T193-72, ASTM D1883) a jeden návrh európskej normy EN 13286-47. Rozdiely medzi jednotlivými normami sú hlavne vo veľkosti zatlačovacieho valca, zhutnením materiálu a maximálnymi veľkosťami častíc. [13]

V roku 1961 a 1970 vydalo AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) predbežný predpis pre stavby vozoviek založených na dátach získaných zo skúšok vykonaných na pozemných komunikáciách v rokoch 1958 – 1960. Ten bol donedávna tradične využívaný pre návrh a modelovanie vozoviek. Predpis je empirický a je odvodený z jednotlivých skúšobných testov, ktoré sú obmedzené počtom prejazdov, záťažou, použitými materiálmi a environmentálnymi podmienkami. V tejto metóde sú pevnostné charakteristiky materiálu založené na experimentoch vykonaných pri statickom zaťažení, čo pre nestmelené zmesi odpovedá Kalifornskému pomeru únosnosti CBR. V skutočnosti zaťaženie na vozovky nie je ani statické ani rovnomerné ale je premenné a dynamické. S ohľadom na rýchlo sa rozvíjajúce technológie a rastúcu diverzifikáciu produktov, typov materiálov a zloženia dopravy je hodnota CBR celkom nedostatočná pre hodnotenie správania vozovky. Z tohto dôvodu vydala inštitúcia AASHTO v Spojených štátoch amerických v roku 1994 predpis pod názvom AASHTO T P46, ktorý prepájal navrhovanie vozoviek s hodnotou nazývanou modul pružnosti. V roku 1999 bol tento predpis premenovaný na AASHTO T307 a je zameraný na skúšanie podkladových vrstiev vozovky pomocou triaxiálneho prístroja. Modul pružnosti E_r jednoduchšie vystihuje správanie a trojdimenzionálne namáhanie vozovky pri zaťažení dopravou. [12]

2.1.2 Pretvárne vlastnosti

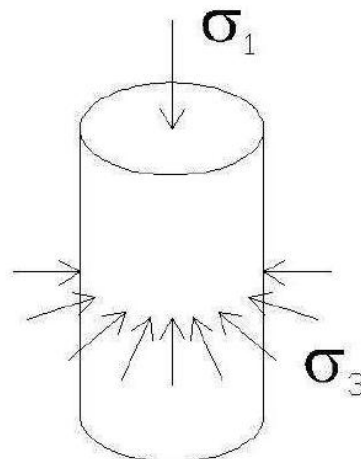
Modul pružnosti je závislý ako aj na fyzikálnych a technických parametroch materiálu ale zároveň aj na mechanickom pôsobení okolia. Nestmelený materiál znesie iba priestorové namáhanie, kde sa uplatní vnútorné trenie, ktoré je hlavnou príčinou jeho únosnosti. Preto sa stanovenie modulu pružnosti dá zisťovať iba v podmienkach, ktoré sa približujú skutočnému stavu. [8]

2.1.3 Určenie modulu pružnosti z cyklickej triaxiálnej skúšky

Pre nestmelené zmesi vo vozovke odpovedá modul pružnosti E_r závislosti medzi napätím a pretvorením. Pri tradičnej cyklickej triaxiálnej skúške, kde σ_1 je premenlivé zvislé napätie a σ_3 je konštantný komorový tlak. Modul pružnosti E_r je silno závislý na úrovni napätia. [11]

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

kde	E_r	-	modul pružnosti [MPa]
	σ_1	-	zvislé napätie v cyklickej triaxiálnej skúške [MPa]
	σ_3	-	komorový tlak [MPa]
	ε_1	-	zvislé pretvorenie v cyklickej triaxiálnej skúške [-][11]



Obrázok 3: Napätie pôsobiace na teleso pri cyklickej triaxiálnej skúške[2]

2.1.3 Určenie modulu pružnosti zo skúšky CBR

Kalifornský pomer únosnosti CBR sa vykonáva zatlačovaním ocelového tŕňa do zhutneného materiálu konštantnou rýchlosťou. Výstupom skúšky je hodnota v percentách, ktorá udáva pomer odporu zatlačenia tŕňa do skúšaného materiálu a odporu zatlačenia tŕňa do normovaného kameniva. Pre zeminy s CBR menším ako 15% je možné modul pružnosti zeminy vypočítať podľa empirického vzorca. [10]

$$E_d = 17,6 \times (\gamma_{\text{CBR}} \times \text{CBR})^{0,64}$$

- kde E_d návrhová hodnota modulu pružnosti podložia [MPa]
 γ_{CBR} koeficient aplikácie skúšky CBR vykonanej podľa ČSN EN 13286-47
 CBR hodnota únosnosti CBR [%]

Návrhový model pružnosti zemín podložia zaradených ako vhodné (CBR \geq 15%) sa určí podľa Tabuľky 1. Pre medziľahlé hodnoty sa určí model pružnosti zeminy lineárnou interpoláciou. Tento postup je na strane bezpečnosti. [10]

Tabuľka 1: Určenie návrhového modulu pružnosti podložia pre CBR = 15% až 50%[9]

CBR	Návrhový modul pružnosti E_d (MPa)	Součinitel příčného přetvoření
15 %	50	0,40
30 %	80	0,35
50 %	120	0,30

Extrapoláciou tabuľkových hodnôt pre CBR $>$ 50% nejde určiť. Ak sa na časti alebo v celej aktívnej zóne predpokladá CBR $>$ 50% , je možné modul pružnosti podložia odvodiť na základe zatriedenej zeminy podľa Tabuľky 2. [10]

Tabuľka 2 : Určenie návrhovej hodnoty modulu pružnosti zo zatriedenia zemín[9]

Zeminy (označení podle ČSN 73 6133)	Modul pružnosti (MPa) pro vlhkost		Součinitel příčného přetvoření	
	po syčení	mírně nad optimem	po syčení	mírně nad optimem
GW, GP nebo kamenitý násyp a skalní podloží	150	150	0,30	0,30
SW	120	120	0,35	0,35
SP, G-F, GC, GM	70	80	0,35	0,35
SC, S-F, SM, CG, MG,	40	50	0,40	0,40
MS, ML, MI, MH, MV, CS, CL, CI, CH, CV	25	45	0,40	0,40

Pre upravené zeminy s $\text{CBR} \geq 15\%$ sa uvažuje návrhový modul pružnosti vrstvy 200 MPa, v prípade $\text{CBR} \geq 30\%$ sa uvažuje 250 MPa, ak nie je skúškami preukázaná vyššia hodnota.

2.1.4 Určenie modulu pružnosti z rázovej zaťažovacej skúšky

Rázová zaťažovacia skúška patrí medzi nedeštruktívne formy skúšania. Povrch skúšaného prostredia je zaťažený rázovým pulzom približne v tvare polovičky sínusoidy, ktorý je vyvolaný pádom závažia na kruhovú dosku. Následkom pádu bremena na kruhovú zaťažovaciu dosku prostredníctvom tlmiaceho systému dôjde k priehybu povrchu meraného prostredia. Vyhodnotením priehybu sa získajú fyzikálno-mechanické vlastnosti prostredia. [9]

Druhy rázových zariadení:

- **Rázové zariadenie skupiny A:** skúšanie krytov tuhých a netuhých vozoviek cestných komunikácií, letiskových a ďalších dopravných komunikácií. Ďalej sa využíva pre skúšanie stmelených a nestmelených podkladových vrstiev.
- **Rázové zariadenie skupiny B:** Používa sa pre skúšanie nestmelených podkladových vrstiev a podložia v oblasti aktívnej hĺbky.
- **Rázové zariadenie skupiny C:** Lahké dynamické dosky, používajú sa predovšetkým pre kontrolu miery zhutnenia hrubozrnných zemín podložia, zemín zlepšených a ďalších, ktoré sa nachádzajú mimo aktívnu hĺbku. [9]

Ako vyplýva z predchádzajúceho textu, rázovou skúškou nemeríme len parametre vrstvy, ale aj parametre prostredia. Preto sa rázovou skúškou určí ekvivalentný modul dvojvrstvového systému a zo známeho modulu podložia je potom možné dopočítať aj moduly nestmelenej vrstvy. Tieto hodnoty je potrebné brať s rezervou, keďže modul sa s prítážením ďalšími vrstvami mení.

2.2 Nestmelené podkladové vrstvy

Nestmelené vrstvy tvoria spodnú prípadne hornú podkladovú a u menej náročných vozoviek aj krytovú vrstvu vozovky. Nestmelené vrstvy vozoviek sú vytvorené zo zrnitej hrubozrnej zmesi kameniva alebo zeminy. Zmesi sa vyznačujú zložením kameniva podľa ČSN EN 13242 s plynulou čiarou zrnitosti k dosiahnutiu

minimálneho množstva medzier v kamenive, zhutniteľnosti, splneniu filtračných kritérií, nenamrzavosti a únosnosti. [2]

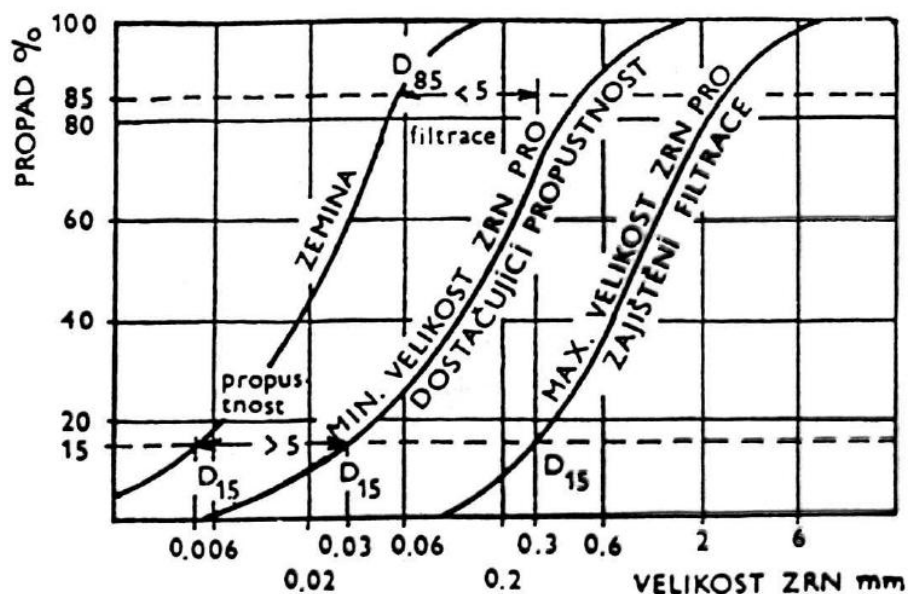
FILTRAČNÉ KRITÉRIA:

Kritérium filtrácie:

- $\frac{D_{15}VRSTVY}{D_{85}PODLOŽIA} \leq 5$
- $\frac{D_{50}VRSTVY}{D_{50}PODLOŽIA} \leq 25$

Kritérium priepustnosti:

- $\frac{D_{15}VRSTVY}{D_{15}PODLOŽIA} \geq 5$



Graf 1: Kritérium filtrácie a priepustnosti [10]

Vrstvy nestmelených zmesí sa zhotovujú podľa ČSN 73 6126-1 a TKP, kapitola 5. V stúpajúcej kvalite rozoznávame nasledujúce vrstvy:

Štěrkopísek – ŠP – vrstva, ktorá je vytvorená rozprestretím a zhutnením prírodného ťaženého kameniva. Štěrkopísek spĺňa kritéria podľa ČSN EN 13285. Štěrkopísek so zaoblenými zrnami má nízke vnútorné trenie medzi zrnami a tvorí

najmenej vhodnú vrstvu z hľadiska prevádzania a únosnosti, vrstva sa pri pojazde a zaťažovaní ľahko pretvára. Podľa normy sa rozlišuje na ŠP_A a ŠP_B. [2]

Mechanicky zpevněná zemina – MZ – vrstva vytvorená rozprestretím a zhutnením zemín určitých zrnitostí a predpísaných vlastností. Hlavne fyzikálnymi vlastnosťami a Kalifornským pomerom únosnosti CBR. [2]

Štěrkodrt’ – ŠD – vrstva vytvorená z drveného kameniva rozprestretím a zhutnením. Štěrkodrt’ spĺňa kritéria podľa ČSN EN 13285. Lomové plochy drveného kameniva zaisťujú vysoké vnútorné trenie vo vrstve a tým je zaistená aj únosnosť. K problémom môže dôjsť pri spracovaní kameniva. Najčastejšie problémy sú segregácia kameniva a nehomogenita vrstvy. Podľa normy sa rozlišuje na ŠD_A a ŠD_B. [2]

Mechanicky zpevněné kamenivo – MZK – inak nazývaný aj ako minerálny betón. Vrstva je vytvorená miešaním jednotlivých frakcií tak, aby sa krivka zrnitosti približovala čo najviac Füllerovej parabole. Vyrába sa v miešacom centre, kde sa aj presne zvlhčuje na optimálnu vlhkosť pre dosiahnutie najvyššej zhutniteľnosti, a tým aj únosnosti. [2]

Okrem uvedených vrstiev je taktiež známa aj vrstva **vibrovaného štrku**. Táto vrstva je vyrábaná na stavenisku rozprestretím štrku 32/63 a zavibrovaním drobnejšieho kameniva. Výroba tejto vrstvy je technologicky náročná. Väčšinou je vrstva nehomogénna, ktorá má problémy s únosnosťou. Je popísaná v zvyškovej norme ČSN 73 6126-2, no napriek tomu v katalógu vozoviek TP 170 už nie je uvedená. [2]

Pri navrhovaní vozoviek sa nestmelené materiály podkladových vrstiev zvyčajne charakterizujú konštantnou hodnotou návrhového modulu pružnosti. V skutočnosti sú pretvárne vlastnosti nestmelených materiálov podstatne zložitejšie. Deformácie závisia nelineárne na napätí. Modul pružnosti a nárast plastických deformácií pri opakovanom zaťažení závisí tiež na vlhkosti materiálu. V českých a slovenských predpisoch sa moduly pružnosti zatiaľ uvažujú pre daný typ nestmeleného materiálu ako konštantné, bez ohľadu na veľkosť pôsobiacich napätí. [8]

Výsledky cyklických triaxiálnych skúšok nestmelených zmesí nám ukazujú, že pri väčšom komorovom tlaku dosiahneme aj väčší modul pružnosti. To je spôsobené tým, že odpor proti pretvoreniu je daný predovšetkým trením medzi zrnami. Pri väčších napätiach je trenie medzi zrnami väčšie a zrná sa vplyvom zaťaženia obtiažnejšie premiestňujú, materiál sa menej pretvára a vypočítaný modul pružnosti je vyšší. To je

zásadný rozdiel oproti správaniu zemín súdržných, kde sú deformácie od zaťaženia ovplyvňované predovšetkým vlhkosťou a tlakom vody v póroch. [8]

Hrúbka nestmelených podkladových vrstiev by sa mala pohybovať v rozmedzí 150-300 mm. V Tabuľke 3 sú zobrazené požadované minimálne hodnoty modulu pretvárnosti podložia a nestmelených vrstiev v závislosti na ich hrúbke a modulu pretvárnosti pod ňou ležiacou vrstvou. [7]

Tabuľka 3: Požadované minimálne hodnoty pretvárnosti podložia a nestmelených vrstiev [7]

a) Ochranná vrstva

Podloží	Požadované moduly pretvárnosti E_{def2} stanovené na povrchu ochranné vrstvy, MPa					
	ŠP, MZ o tloušťce vrstvy, mm			ŠD o tloušťce vrstvy, mm		
	150	200	250	150	200	250
30 ¹⁾	45	50	60	50	60	70
45	60	60	60	70	80	90
60	60			90	100	110
90				120		

¹⁾ Platí pro vozovky a konstrukce ve třídě dopravního zatížení VI.

b) podkladní vrstva

Ochranná vrstva	Požadované moduly pretvárnosti E_{def2} stanovené na povrchu podkladní vrstvy, MPa					
	ŠD o tloušťce vrstvy, mm			MZK, MZKO o tloušťce vrstvy, mm		
	150	200	250	150	200	250
45 ¹⁾	70	80	90			
50 ¹⁾	80	90	100	100	110	120
60	90	100	110	110	120	130
70	100	110	120	120	130	140
80	110	120	120	130	140	150
90	120	120		140	150	150
100	120			150	150	
120				150		

¹⁾ Platí pro vozovky a konstrukce ve třídě dopravního zatížení VI.

2.3 Popis metod laboratorních skúšok

V nasledujúcej kapitole budú stručne popísané laboratorne skúšky použité v praktickej časti. Uvedú sa odlišnosti od noriem a ich dôvody. Pôjde o určenie krivky zrnitosti pomocou sitového rozboru, zistenie optimálnej vlhkosti, pri ktorej dosiahneme maximálneho zhutnenia – Proctor modifikovaný a nakoniec opísaniu skúšky CBR a cyklickej triaxiálnej skúšky.

2.3.1 Sitový rozbor

Skúška pozostáva z roztriedenia a oddelenia materiálu pomocou sady sít do niekoľkých frakcií s klesajúcou veľkosťou častíc. Na tento účel sa používa tzv. presievačka zobrazená na Obrázku 4. Veľkosti otvorov a počet sít sú volené podľa

normy ČSN EN 933-1. Hmotnosť častíc zachytených na jednotlivých sítach sa uvádza vo vzťahu k počiatočnej hmotnosti skúšaného vzorku. Celkový prepád jednotlivých sít sa uvádza v percentách číselným spôsobom. Výsledkom skúšky je krivka zrnitosti, ktorá je premietnutá v grafe. [6]



Obrázok 4: Presievačka pre sitový rozbor kameniva [14]

2.3.2 Proctor modifikovaný

Podrobné pokyny pre stanovenie maximálnej objemovej hmotnosti a príslušnej vlhkosti skúšaného materiálu sú podrobne popísané v norme ČSN EN 13286-2.

Hutnenie nestmelených zmesí a zmesí stmelenými hydraulickými spojivami je proces, pri ktorom sú pevné častice navzájom tesnejšie približované. Čo spôsobuje, že sa zvyšuje suchá objemová hmotnosť zmesi. Dosiadnutá suchá objemová hmotnosť závisí na vykonanej zhutňovacej práci, spôsobe vyvodzovania. [5]

Norma sa popisuje viacero skúšok zhutniteľnosti. Varianty postupu sa líšia v závislosti na maximálnej veľkosti častíc skúšanej zmesi, množstvom vzoriek, ale aj veľkosti formy. Základné dve skúšky sú:

- Proctor Standard – PS
- Proctor Modifikovaný – PM

Hlavný rozdiel medzi týmito dvomi skúškami je predovšetkým v použitom pechu. Pri skúške Proctor Standard používame pech o hmotnosti kg 2,5 kg, u modifikovaného Proctora je to 4,5 kg alebo 15kg. Veľkosť formy sa zvolí podľa maximálnej veľkosti zrna skúšanej zmesi. [4]



Obrázok 5: Prístroj k prevedeniu skúšky Proctor Standard a Proctor Modifikovaný[14]

Pre všetky zmesi, ktoré boli v tejto diplomovej práci skúšané, bola zvolená skúška typu Proctor Modifikovaný s formou typu B. Vlastnosti skúšobného zariadenia pre túto skúšku sú nasledujúce. [4]

- Hmotnosť pechu 4,5 kg
- Výška dopadu 457 mm
- Priemer pechu 50 mm
- Počet vrstiev 5 vrstiev
- Počet úderov na vrstvu 56 úderov

Forma sa s pripevnenou základnou doskou zväží a zaznamená s presnosťou na 1g. Z jednej pripravenej zmesi sa do formy vloží také množstvo, aby po zhutnení vyplnilo okolo jednej pätiny telesa. Hutní sa zvoleným počtom úderov rovnomerne po

obvode. Je dôležité, aby pech dopadal vždy voľne a neprekážala mu zmes na vodiacej tyči alebo na nej. Postup sa opakuje štyrikrát tak, aby množstvo zmesi nebolo viac ako 10 mm nad horný okraj formy. Nástavec sa demontuje a prebytočná zmes sa odstráni. Povrch zmesi sa špachtľou ručne zarovná. Forma spolu s hutnenou zmesou sa zväží s presnosťou na 1g. Zhutnená zmes sa z formy vyberie a malá časť z nej sa podrobí zmeraniu vlhkosti. [3]

Proctorova skúška sa prevedie s každým zo zostávajúcich vzoriek a získa sa tak celkom päť, alebo u vzoriek známych vlastností, aspoň tri stanovené hodnoty. Vlhkosti musia byť zvolené také, aby optimálna vlhkosť, pri ktorej sa dosiahne maximálnej objemovej hmotnosti ležala blízko stredu rozmedzia. [3]

Objemová hmotnosť vlhkej zmesi sa vypočíta podľa nasledovnej rovnice:

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1) \times 1000}{V}$$

- kde ρ - objemová hmotnosť zhutnenej vlhkej zmesi [$kg \cdot m^{-3}$]
 m_1 - hmotnosť formy [g]
 m_2 - hmotnosť formy a zhutnenej zmesi [g]
 V - objem formy [m^3][3]

Vlhkosť jednotlivého zhutneného vzorku sa vypočíta podľa:

$$w = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_3 - m_1)} \times 100$$

- kde w - vlhkosť zmesi [%]
 m_1 - hmotnosť misky [g]
 m_2 - hmotnosť misky spolu s vlhkým vzorkom [g]
 m_3 - hmotnosť misky spolu so suchým vzorkom [g]

Suchá objemová hmotnosť jednotlivého zhutňovaného vzorku sa vypočíta podľa nasledovnej rovnice:

$$\rho_d = \frac{\rho \times 100}{w + 100}$$

kde	ρ	-	objemová hmotnosť zhutnenej vlhkej zmesi [$kg \cdot m^{-3}$]
	ρ_d	-	suchá objemová hmotnosť zhutnenej zmesi [$kg \cdot m^{-3}$]
	w	-	vlhkosť zmesi [%] [3]

2.3.3 Kalifornský pomer únosnosti

Podrobné pokyny pre stanovenie Kalifornského pomeru únosnosti skúšaného materiálu sú podrobne popísané v norme ČSN EN 13286-47.

Kalifornský pomer únosnosti CBR (California Bearing Ratio) bol určený pred 2. svetovou vojnou v Kalifornii na určenie a meranie únosnosti podkladových zemín pri výstavbe ciest. Používala sa aj ako kontrola únosnosti neupravených štartovacích a pristávacích lietadlových dráh. V dnešnej dobe CBR slúži ako preukázateľná a kontrolná skúška pri vyhodnotení únosnosti podložia a konštrukčných vrstiev cestných komunikácií. [1]

Kalifornský pomer únosnosti vyjadruje pomer sily potrebnej k zatlačeniu štandardného tŕňa konštantnou rýchlosťou do stanovenej hĺbky vzorky zeminy voči sile potrebnej k zatlačeniu tŕňa do rovnakej hĺbky v normovom kamenive. (CBR = 100%)

Hodnota Kalifornského pomeru únosnosti sa vypočíta podľa nasledovnej rovnice:

$$CBR = \frac{F}{F_s} \times 100$$

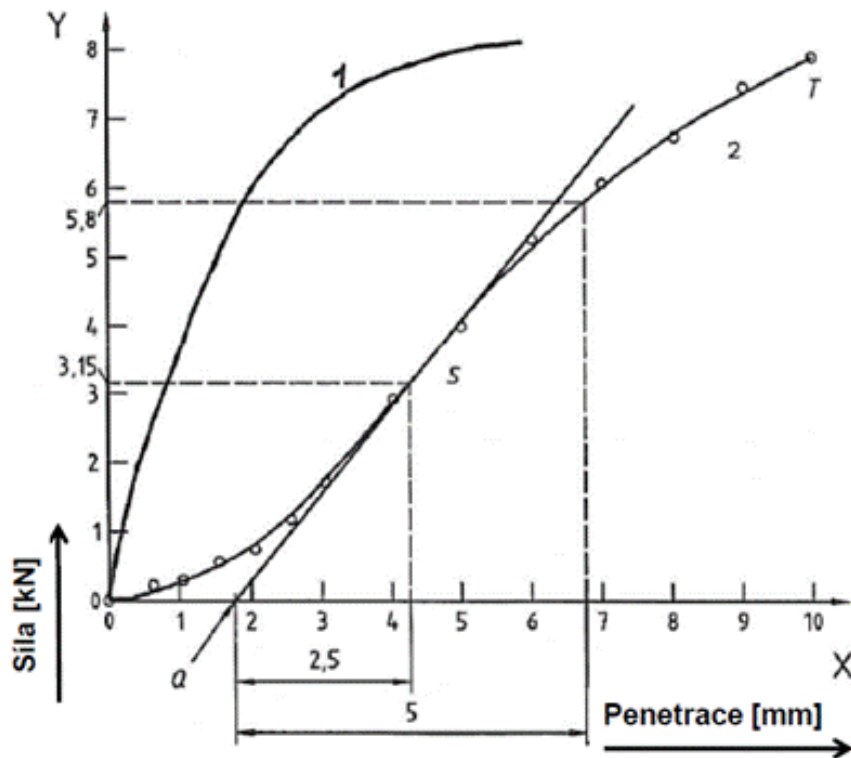
kde	CBR	hodnota Kalifornského pomeru únosnosti [%]
	F_s	štandardná sila potrebná k zatlačeniu tŕňa do danej hĺbky v normovanom kamenive [kN]
	F	štandardná sila potrebná k zatlačeniu tŕňa do danej hĺbky v skúšanom kamenive [kN]

Variantou skúšky CBR je IBI (Immediate bearing index), čo je okamžitá hodnota Kalifornského pomeru únosnosti bez použitia zaťažovacieho prstenca. V prípade nestmelených zmesí sa IBI zisťuje okamžite po zhutnení, pri zeminách upravených hydraulickými spojivami je to do 90 min. a v prípade použitia vápna je to 60 min. [1]

Podľa postupu opísaného v kapitole 2.3.2 sa pomocou Proctorovej modifikovanej skúšky zhutní skúšaný materiál do formy s rozdielom, že na dno formy umiestnime hrubý filtračný papier, ktorý umožní jednoduchšie oddelenie podkladovej vrstvy od vzorky zeminy. Po zhutnení a zarovnaní sa vzorka otočí. Pôvodná spodná strana je teraz otočená smerom nahor a je určená k skúšaniam. Vrchná strana vzorky sa osadí tŕňom o priemere 50 mm. V prípade skúšky CBR sa osadia aj zaťažovacie prstence. V prípade skúšky IBI sa skúša bez nich. Na lise sa nastaví rýchlosť 1,27 mm/min a pomocou ovládacích tlačidiel pre rýchly posun sa nastaví hrubé dosadenie kĺbu lisu na roznášaciu vložku nad tŕňom. Počas merania sa vháňa tŕň do kameniva konštantnou nastavenou rýchlosťou, počas ktorej sa zaznamenáva sila potrebná k zatlačeniu tŕňa o každých 0,5 mm. Meranie končí pri zaborení tŕňa o 10 mm. [1]

Pre zistenie hodnoty CBR_{sat} sa proctorova forma s kamenivom osadí na perforovanú podkladovú dosku skúšanej časti vzorky smerom dolu a osadí sa nástavcom. Celá zostava sa umiestni do nádoby, ktorá umožňuje celé ponorenie vzorky. Na vrchnú stranu vzorky sa osadia priťažovacie prstence, ktoré počas zrenia simulujú konštrukciu vozovky. Na nástavec sa umiestni trojnožka s uchyteným úchylkomerom pre meranie lineárneho bobtnania. Po stanovenej dobe zrenia sa odčíta rozdiel na úchylkometri a prevedie sa skúška CBR. [1]

Na základe nameraných hodnôt závislosti sily od penetrácie sa vytvorí grafická závislosť – Obrázok 6. Krivka závislosti sily od penetrácie má mať v celej dĺžke konkávny tvar. V prípade zlého dosadenia tŕňa môže mať v prvej časti krivka konvexný tvar. V takom prípade je nutné vykonať korekciu. V inflexnom bode je vedená dotyčnica a jej prienik s osou x je zvolený ako nový počiatok merania, od ktorého sa ďalej odčítajú jednotlivé hodnoty. [1]



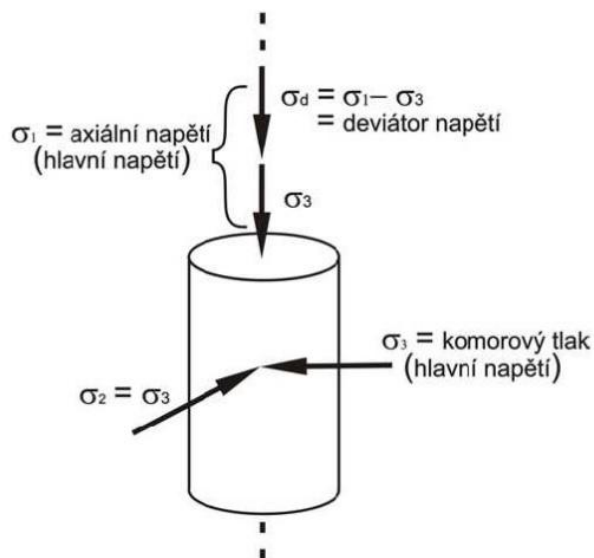
Graf 2 : Grafické vykreslenie krivky závislosti sily na penetrácii trňu

2.4 Cyklická triaxiálna skúška

2.4.1 Základný princíp skúšky

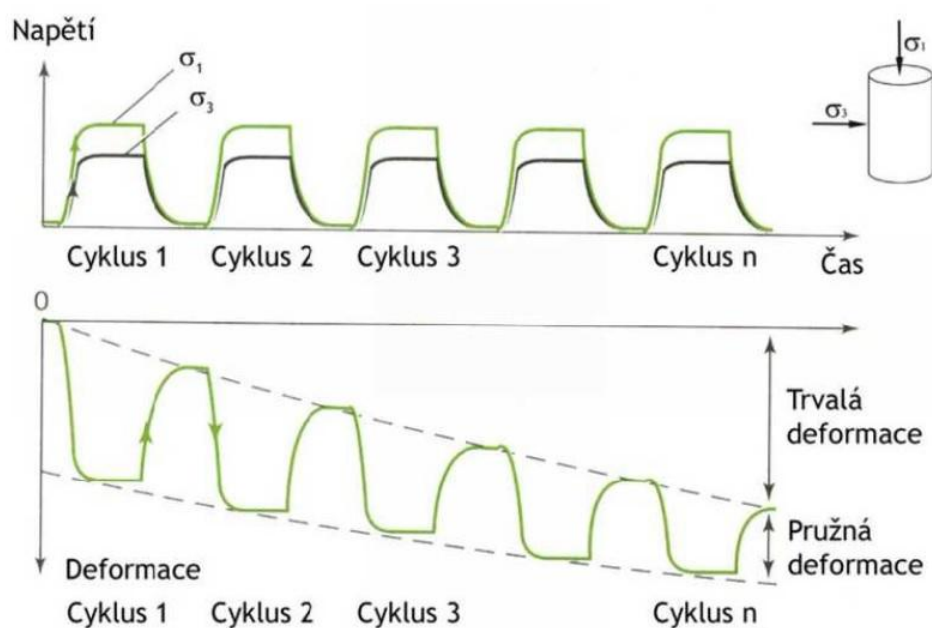
Skúška cyklickým zaťažovaním v triaxiálnom prístroji patrí k tzv. funkčným skúškam, ktoré sa snažia čo najreálnejšie napodobňovať dopravné zaťaženie pôsobiace v podloží a konštrukcie vozovky pozemných komunikácií. Táto skúška bola zavedená v mnoho zemiach EU vrátane ČR a je popísaná v ČSN EN 13286-7.

Cyklická triaxiálna skúška spočíva v zaťažovaní vzoriek tvaru valca, pripravených z nestmelených zmesí, cyklickým napätím, ktoré kopíruje rôzny rozsah napätia pôsobiaceho na nestmelenú vrstvu vozovky a meraním osového a radiálneho pretvorenia vzorkov spôsobeným týmto zaťažovaním. Poznáme 2 metódy merania. Metóda A (Metóda premenlivého komorového tlaku) aplikuje cyklický osový deviátor napätia a premenlivý (cyklický) komorový tlak s premenlivou fázou pôsobenia. Metóda B používa zjednodušený režim napätia s cyklickým osovým deviátorom napätia a konštantným komorovým tlakom. [2]



Obrázok 6 : Schéma napätí pôsobiacich v triaxiálnom prístroji

Model pružnosti E_r je výsledkom zaťažovania radov cyklov o rôznych napätiach, pri ktorých sú merané hodnoty pružných deformácií a daných napätí. Modul pružnosti E_r rastie so zväčšujúcim sa zvislým napätím σ_1 . Zvislé napätie sa zväčšuje s rastúcim komorovým napätím σ_3 . Komorový tlak simuluje tlak prostredia vo vozovke vyvedení vo vodorovnom smere vplyvom zaťaženia dopravou. Tlak kolies od vozidiel sa roznáša približne pod uhlom 45° . S rastúcou hĺbkou tieto sily klesajú, a tým klesá aj napätie. [2]



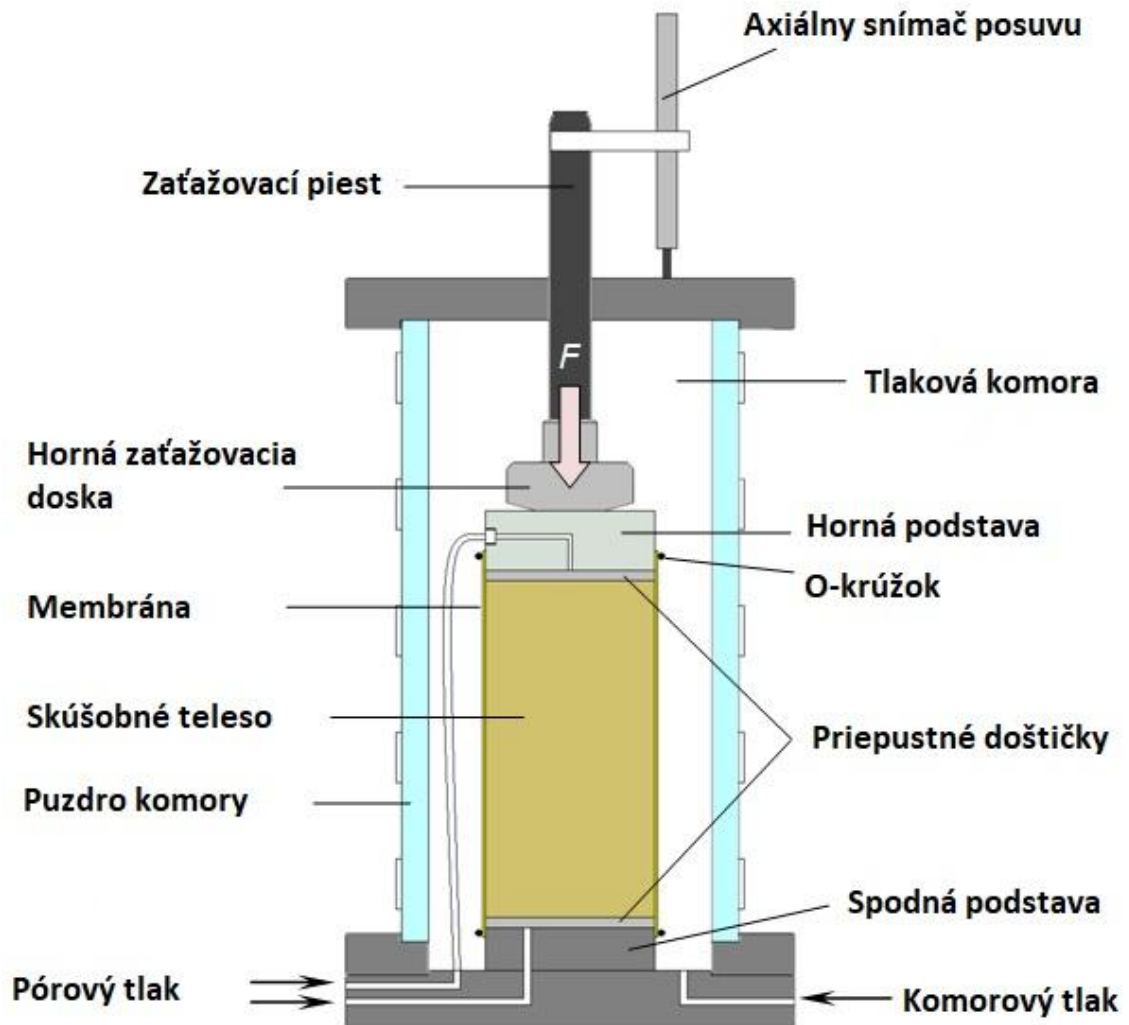
Graf 3 : Schéma napätí pôsobiacich v triaxiálnom prístroji

Pred začatím skúšky sa musí na teleso nasadiť gumená membrána, ktorá zabráňuje odpadávaniu drobných úlomkov počas skúšky a umožňuje komorovému tlaku pôsobiť na celý povrch skúšobného telesa predstavujúc okolitý materiál vrstvy. Teleso vložíme medzi dve podstavy, kde membránu utesníme tesneniami v mieste výrezu. Takto pripravené teleso vložíme do prístroja. Najskôr prebieha kondicionovanie pri konštantnom komorovom tlaku, potom je teleso zaťažované zvislým napätím pri zvyšujúcom sa komorovom tlaku. Pri zaťažovaní je meraná zvislá deformácia telesa. Výsledok predstavuje pracovný diagram, v ktorom je vykreslená zvislá deformácia telesa pri rôznom napätí a sú vypočítané hodnoty modulu pružnosti pre jednotlivé zvislé napätia. Podrobnejšie sú obidve metódy opísané v kapitole 2.5 [2]



Obrázok 7 : Triaxiálny prístroj

2.4.2 Základné časti triaxiálneho prístroja



Obrázok 8: Hlavné časti cyklického triaxiálneho prístroja[12]

Tlaková komora

Hlavnou súčasťou triaxiálneho prístroja je tlaková komora a zaťažovacie zariadenie. Tlaková komora slúži pre vyvolenie komorového tlaku. Ako médium pre vyvolanie komorového tlaku sa používa vzduch, voda alebo silikónový olej. Pri cyklických zmenách komorového tlaku musí byť schopné zariadenie vyvinúť komorový tlak $\sigma_3 = 300\text{kPa}$. Frekvencia zaťažovania musí byť v rozmedzí 0,2Hz a 10Hz. Fázový posun medzi osovým a komorovým tlakom nesmie prekročiť 1 % doby cyklu.

V prípade konštantného komorového tlaku musí byť zariadenie schopné vyvinúť minimálne 150 kPa. Komorový tlak je taktiež možné vyvinúť čiastočným vákuom vo vnútri skúšobného vzorka. [2]

Zaťažovacie zariadenie

Na skúšobné teleso je vyvedený osový tlak σ_1 pomocou zaťažovacieho zariadenia. Toto zariadenie musí byť schopné vyvodiť maximálny deviátor napätia 600kPa. Rovnako ako pri tlakovej komore musí byť schopné vyvodiť toto zaťaženie vo frekvencii od 0,2 Hz do 10 Hz. [2]

Snímače tlaku, sily a odozvy

Medzi veľmi dôležité časti triaxiálneho prístroja snímače tlaku, snímače osovej sily a zariadenie pre meranie odozvy. Tieto snímače sú umiestnené priamo na skúšobnom telese v tlakovej komore a sú prepojené s počítačom cez konektory umiestnené v hornom veku tlakovej komory. V závislosti na izolácii týchto konektorov volíme médium vo vnútri tlakovej komory. Snímače osovej sily sú prednostne umiestňované vo vnútri tlakovej komory a to v priamom dotyku s hornou podstavou. Snímač tlaku meria komorový tlak vo vnútri tlakovej komory alebo čiastočné vákuo vo vnútri vzorku.

Zariadenie pre meranie odozvy je určené pre meranie osovej deformácie. Tieto snímače sú pripevnené priamo na centrálnej časti skúšobného telesa. Vhodná metóda pre meranie deformácií je pomocou troch lineárnych snímačov posunu. [2]

Horná a spodná podstava

Skúšobné teleso je umiestňované medzi hornú a spodnú podstavu. Priemer podstavy by mal byť rovný alebo väčší ako počiatočný priemer skúšobného telesa. Pri zaťažovaní je dôležité, aby bolo zaistené odvedenia vzduchu zo vzorku. Preto sa používajú drenážne doštičky a polopriepustné filtre. Tieto drenážne doštičky a filtre sa umiestňujú medzi podstavu a skúšobné teleso a to ako aj z hornej strany tak aj zo spodnej. Priemer drenážnych doštičiek by mal byť rovnaký alebo o niečo menší. Pred každým skúšaním je dôležité skontrolovať priepustnosť drenážnych doštičiek a to pomocou tlaku vzduchu. Filter musí byť priepustný pre vzduch ale zároveň aj nepriepustný pre vodu. [2]

Membrána

Proti prenikaniu tlakového média z komory do vzorky sa používa nepriepustná membrána. Nenapnutá membrána musí mať priemer menej ako 95% priemeru skúšobného telesa. Hrúbka membrány musí byť menšia ako 0,8% priemeru skúšobného telesa. Na hornú a spodnú podstavu musí byť umiestnená membrána stiahnutá

gumeným O-krúžkom. Tento krúžok má v neroztiahnutom stave priemer 90% skúšobného telesa [2]

Skúšobné teleso

Rozmery skúšobného telesa musia vyhovovať kritériám podľa normy ČSN EN 13286 – 7. Priemer vzorky by mal byť päťkrát väčší ako je najväčšia častica materiálu, z ktorého je skúšobné teleso vyrobené. Výška skúšobného telesa by mala byť dvakrát väčšia ako priemer skúšobného telesa. [2]

2.5 Metodika merania pružného chovania

2.5.1 Kondicionovanie skúšobného telesa

Pred samotným začatím testovania skúšobného telesa musíme zo skúšobného telesa odstrániť trvalé deformácie. To dosiahneme, ak teleso vystavíme predbežnému cyklickému zaťažovaniu. Táto fáza sa nazýva kondicionovanie. [2]

Metoda A – Metoda premenného komorového tlaku

Komorový tlak je v rovnakej fáze s osovým zaťažením. Pre predbežné cyklické zaťažovanie máme dve dráhy. Úroveň vysokého napätia a úroveň nízkeho napätia.

Skúška sa preruší v prípade, ak je dosiahnutá väčšia deformácia ako 2% alebo dôjde k porušeniu vzorku. [2]

Tabuľka 4 : Úroveň napätia pri kondicionovaní, metoda A [2]

	Komorový tlak $\sigma_3 [kPa]$		Deviátor napätia $\sigma_d [kPa]$	
	min	max	min	max
Úroveň vysokého napätia	10	110	0	600
Úroveň nízkeho napätia	10	110	0	300

Metoda B – Metoda konštantného komorového tlaku

Zásadný rozdiel oproti predchádzajúcej metóde je konštantný komorový tlak. Kondicionovanie skúšobného telesa môže byť ukončené skôr ako pri dosiahnutí 20 000 cyklov v prípade, že nárast plastickej deformácie neprekročí hodnotu 1×10^{-7} na zaťažovací cyklus alebo zmena modulu pružnosti je menšia ako 5 kPa. [2]

Tabuľka 5 : Úroveň napätia pri kondicionovaní, metóda B [2]

	Komorový tlak $\sigma_3[kPa]$	Deviátor napätia $\sigma_d[kPa]$	
	Konštantný	min	max
Úroveň vysokého napätia	70	0	340
Úroveň nízkeho napätia	70	0	200

2.5.2 Meranie pružného správania metóda A

Po odstránení trvalých deformácií môžeme začať s testovaním testovaním skúšobného telesa podľa tabuľky 3.

Tabuľka 6 : Úroveň napätia pre pružné správanie metódou A [2]

Úroveň vysokého napätia				Úroveň nízkeho napätia			
Komorový tlak $\sigma_3[kPa]$		Deviátor napätia $\sigma_d[kPa]$		Komorový tlak $\sigma_3[kPa]$		Deviátor napätia $\sigma_d[kPa]$	
min	max	min	max	min	max	min	max
10	60	0	0	10	60	0	0
10	110	0	0	10	110	0	0
10	185	0	0	10	185	0	0
10	260	0	0	10	260	0	0
10	77	0	100	10	60	0	30
10	143	0	200	10	110	0	60
10	210	0	300	10	185	0	105
10	277	0	400	10	260	0	150
10	60	0	150	10	60	0	75
10	110	0	300	10	110	0	150
10	160	0	450	10	160	0	225
10	210	0	600	10	210	0	300
10	35	0	150	10	35	0	75
10	60	0	300	10	60	0	150
10	85	0	450	10	85	0	225
10	110	0	600	10	110	0	300
10	15	0	75	10	20	0	60
10	20	0	150	10	30	0	120
10	25	0	225	10	35	0	150

2.5.3 Meranie pružného správania metóda B

Po odstránení deformácií sa zníži komorový tlak na hodnotu 20 kPa a nechá sa skúšobné teleso dostatočne stabilizovať. Potom sa podľa zvolenej úrovne napätia vnesie do skúšobného telesa cyklické osovú zaťaženie a konštantný komorový tlak.

Tabuľka 7 : Úroveň napätia pre pružné správania metódou B [2]

Úroveň vysokého napätia			Úroveň nízkeho napätia		
Komorový tlak $\sigma_3 [kPa]$	Deviátor napätia $\sigma_d [kPa]$		Komorový tlak $\sigma_3 [kPa]$	Deviátor napätia $\sigma_d [kPa]$	
Konštantný	min	max	min	min	max
20	0	30	20	0	20
20	0	50	20	0	35
20	0	80	20	0	50
20	0	115	20	0	70
35	0	50	35	0	35
35	0	80	35	0	50
35	0	115	35	0	70
35	0	150	35	0	90
35	0	200	35	0	120
50	0	80	50	0	50
50	0	115	50	0	70
50	0	150	50	0	90
50	0	200	50	0	120
50	0	280	50	0	160
70	0	115	70	0	70
70	0	150	70	0	90
70	0	200	70	0	120
70	0	280	70	0	160
70	0	340	70	0	200
100	0	400	100	0	90
100	0	200	100	0	120
100	0	280	100	0	160
100	0	340	100	0	200
100	0	400	100	0	240
150	0	200	150	0	120
150	0	280	150	0	160
150	0	340	150	0	200
150	0	400	150	0	240
150	0	475	150	0	300

2.5.4 Viacstupňová metóda zaťažovania

Účelom tejto skúšky je stanovenie maximálnej úrovne napätia, ktoré nesmie byť prekročené aby nedošlo k prílišnej plastickej deformácie. Skúška pozostáva z aplikovania rôznych dráh napätia a z konštantného komorového tlaku na jedno skúšobné teleso. Pri skúške sa použijú dva rôzne zaťažovacie postupy. Aplikované úrovne napätia majú pokryť rozsah napätia, ktorému bude skúšaný materiál vystavený v teréne. [2]

Skúšku začneme stupňom 1. Každý stupeň je podrobený 10 000 cyklov. Skúška je prerušená, ak trvalé deformácie pretvorenia presiahnu 0,5% pre dva po sebe idúce zaťažovacie stupne. [2]

Tabuľka 8 : Úroveň napätia pre viacstupňový skúšobný postup (vysoká úroveň napätia) [2]

Zaťažovací stupeň 1			Zaťažovací stupeň 4		
Komorový tlak $\sigma_3 [kPa]$	Deviátor napätia $\sigma_d [kPa]$		Komorový tlak $\sigma_3 [kPa]$	Deviátor napätia $\sigma_d [kPa]$	
Konštantný	min	max	Konštantný	min	max
20	0	50	100	0	200
20	0	80	100	0	300
20	0	110	100	0	400
20	0	140	100	0	500
20	0	170	100	0	600
20	0	200	-	-	-
Zaťažovací stupeň 2			Zaťažovací stupeň 5		
Komorový tlak $\sigma_3 [kPa]$	Deviátor napätia $\sigma_d [kPa]$		Komorový tlak $\sigma_3 [kPa]$	Deviátor napätia $\sigma_d [kPa]$	
Konštantný	min	max	Konštantný	min	max
45	0	100	150	0	200
45	0	180	150	0	300
45	0	240	150	0	400
45	0	300	150	0	500
45	0	360	150	0	600
45	0	420			
Zaťažovací stupeň 3					
Komorový tlak $\sigma_3 [kPa]$	Deviátor napätia $\sigma_d [kPa]$				
Konštantný	min	max			
70	0	120			
70	0	240			
70	0	320			
70	0	400			
70	0	480			
70	0	560			

3 Praktická část

Praktická část této diplomové práce je zaměřená na opis a vyhodnocení jednotlivých laboratorních zkoušek prováděných na vybraných nestmelených zmesích. Dalším bodem je stanovení modulu pružnosti E_r a následně tyto výsledky porovnat s návrhovými hodnotami modulu pružnosti E_r z technických předpisů TP 170 – Navrhování vozovek pozemních komunikací. Všechny nižší uvedené zkoušky a práce byly realizovány v Ústavě pozemních komunikací Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně. Protokoly z laboratorních zkoušek jako i protokoly o odběru vzorků se nacházejí v přílohou části této diplomové práce.

3.1 Použité materiály a ich klasifikácia

K laboratorním zkouškám bylo použito celkem 5 druhů kameniva reprezentující nestmelené zmesi. A to dvě vzorky mechanicky spevněné zeminy, štrkodrt' třídy A a B a na závěr mechanicky spevněné kamenivo které bylo namíchané z různých frakcií v priestoroch laboratória pre dosiahnutie čo najlepších vlastností. Všechny tyto materiály jsou opísané v nasledujúcich kapitolách.

3.1.1 Sitový rozbor

Skúška bola vykonaná podľa normy ČSN EN 933-1. Z každého materiálu bola odobratá reprezentatívna vzorka o hmotnosti 1000g. Pred samotnou skúškou sa táto vzorka nechala vysušiť v laboratornej sušiarne pri teplote 110°C. Skúška môže začať po úplnom vysušení vzorky, ktoré sa spozná ustálením hmotnosti pri sušení. Použitá sada normalizovaných sít mala veľkosti ok 32; 22,4; 16; 11,2; 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,250; 0,125 a 0,063 mm. Vážením množstva materiálu zachyteného na jednotlivých sítach v pomere k celkovej hmotnosti materiálu bol stanovený percentuálny prepad jednotlivými sítami.

3.1.2 Mechanicky spevnená zemina – Těškov

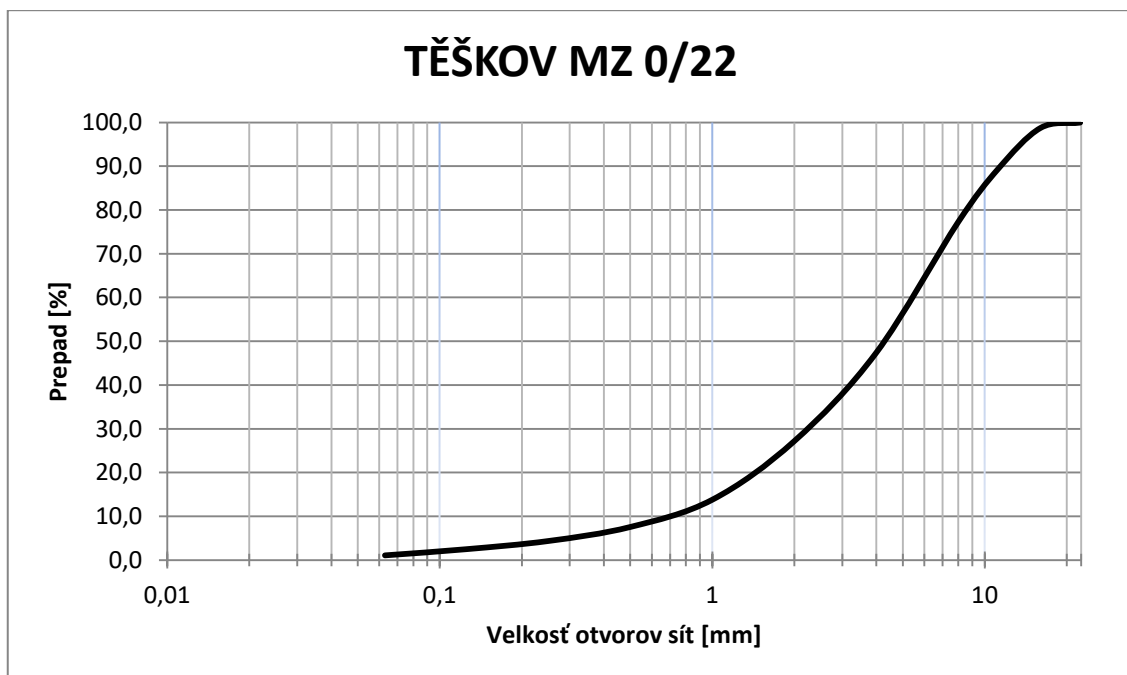
Kamenivo odobraté z lomu Těškov je zaradené medzi mechanicky spevnenú zeminu. Je to kremenný porfýr a patrí medzi prírodné, drvené a neprané kamenivo frakcie 0/22. V suchom stave má svetlo žltú farbu. Materiál je zobrazený na Obrázku 9.



Obrázok 9 : MZ 0/22 Těškov

Stanovenie krivky zrnitosti:

Krivka zrnitosti materiálu bola stanovená postupom uvedeným v kapitole 3.1.1. Výsledok sitového rozboru je zobrazený v Grafe 4.



Graf 4 : Krivka zrnitosti MZ 0/22 Těškov

3.1.3 Mechanicky spevnená zemina – Horní Tašovice

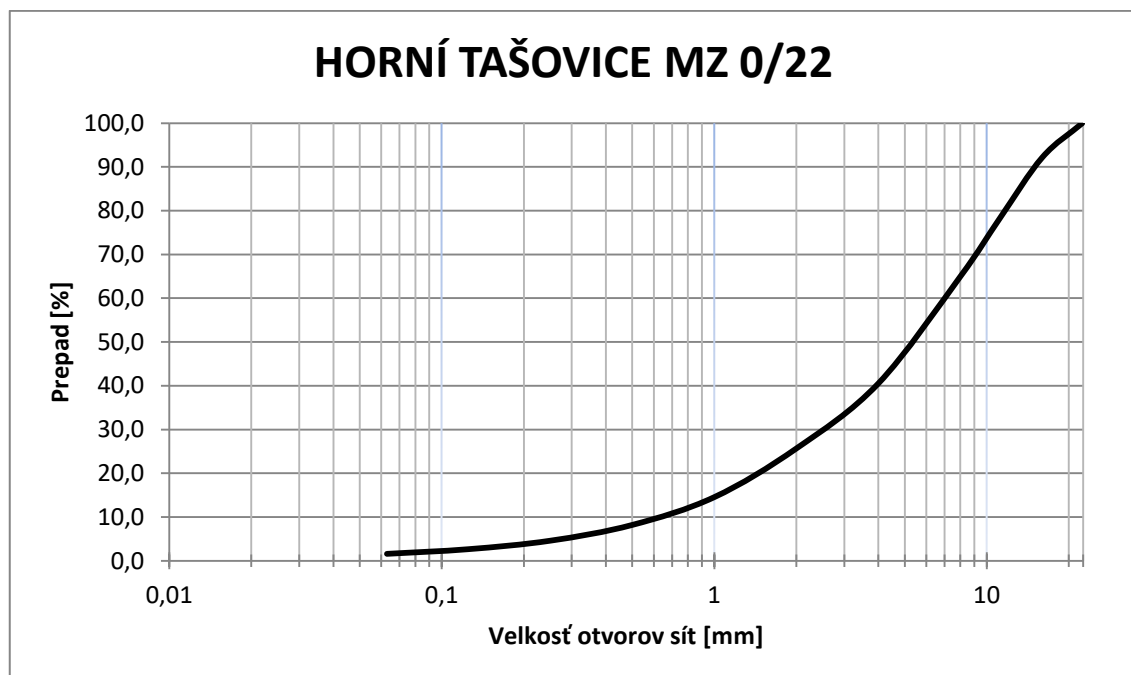
Kamenivo odobraté z lomu Horní Tašovice je zaradené medzi mechanicky spevnenú zeminu. Je to čadič a patrí medzi prírodné, drvené a neprané kamenivo frakcie 0/22. V suchom stave má hnedo-čierno farbu. Materiál je zobrazený na Obrázku 10.



Obrázok 10 : MZ 0/22 Horní Tašovice

Stanovenie krivky zrnitosti:

Krivka zrnitosti materiálu bola stanovená postupom uvedeným v kapitole 3.1.1. Výsledok sitového rozboru je zobrazený v Grafe 4.



Graf 5 : Krivka zrnitosti Horní Tašovice MZ 0/22

3.1.4 Štrkodrť triedy B – Plaňany

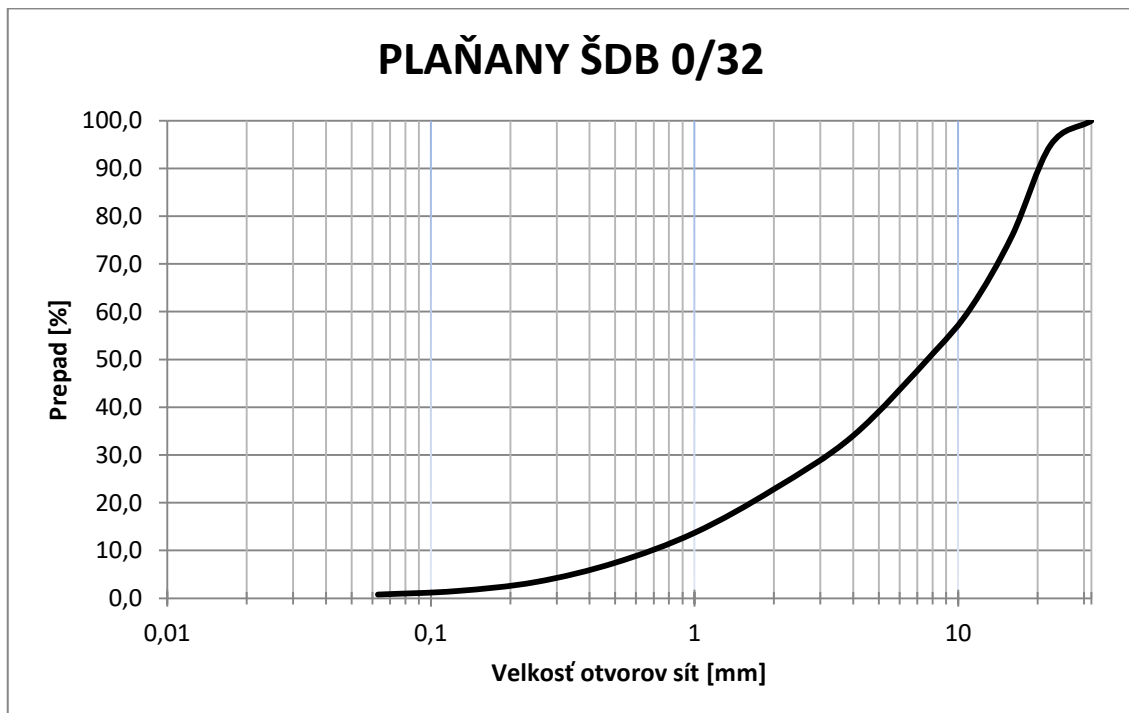
Kamenivo odobraté z lomu Plaňany je zaradené medzi štrkodrť triedy B. Je to rula-magmatit a patrí medzi prírodné, drvené a neprané kamenivo frakcie 0/32. V suchom stave má svetlo šedú farbu. Materiál je zobrazený na Obrázku 11.



Obrázok 11 : ŠDB 0/32 - Plaňany

Stanovenie krivky zrnitosti:

Krivka zrnitosti materiálu bola stanovená postupom uvedeným v kapitole 3.1.1. Výsledok sitového rozboru je zobrazený v Grafe 5.



Graf 6 : Krivka zrnitosti Plaňany ŠDB 0/32

3.1.5 Štrkodrť triedy A – Libochovany

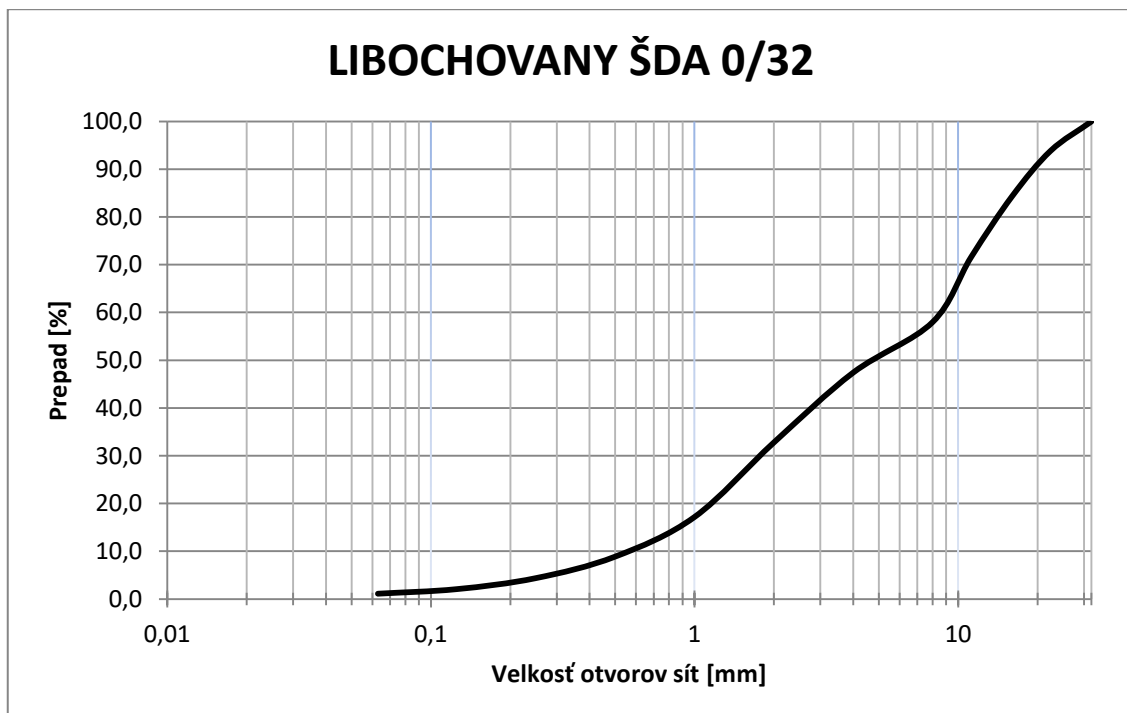
Kamenivo odobraté z lomu Plaňany je zaradené medzi štrkodrť triedy A. Je to čadič a patrí medzi prírodné, drvené a neprané kamenivo frakcie 0/32. V suchom stave má svetlo šedú farbu. Materiál je zobrazený na Obrázku 12.



Obrázok 12 : ŠDA 0/32 - Libochovany

Stanovenie krivky zrnitosti:

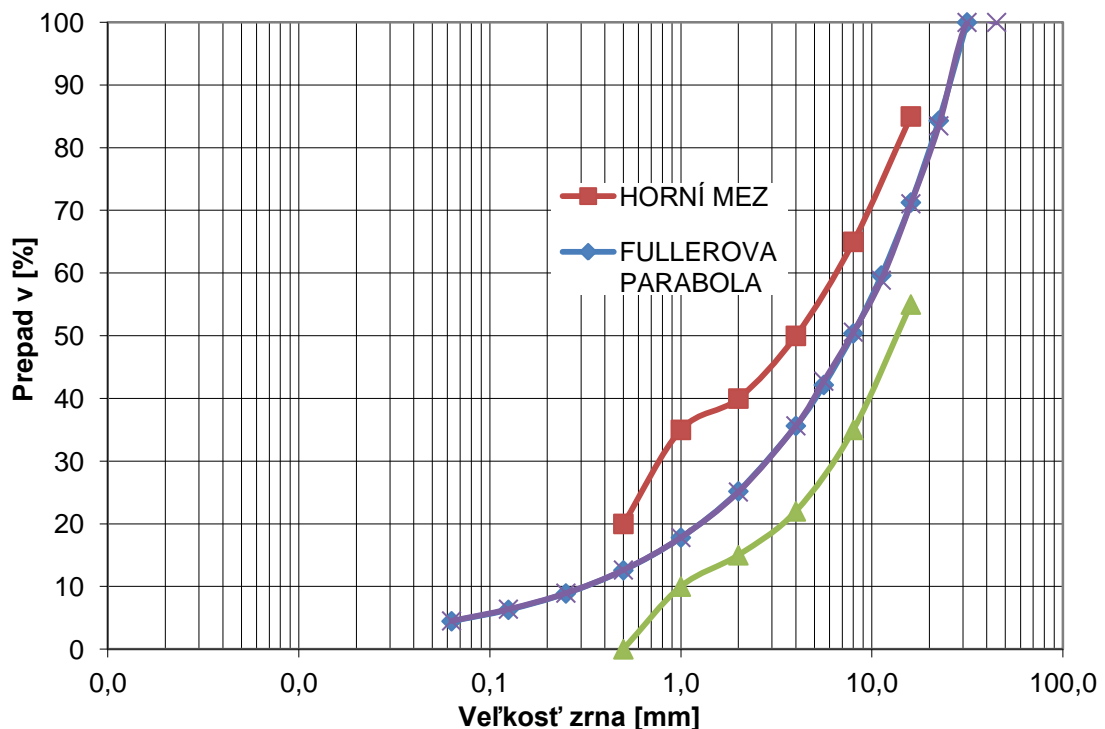
Krivka zrnitosti materiálu bola stanovená postupom uvedeným v kapitole 3.1.1. Výsledok sitového rozboru je zobrazený v Grafe 6.



Graf 7 : Krivka zrnitosti Libochovany ŠDA 0/32

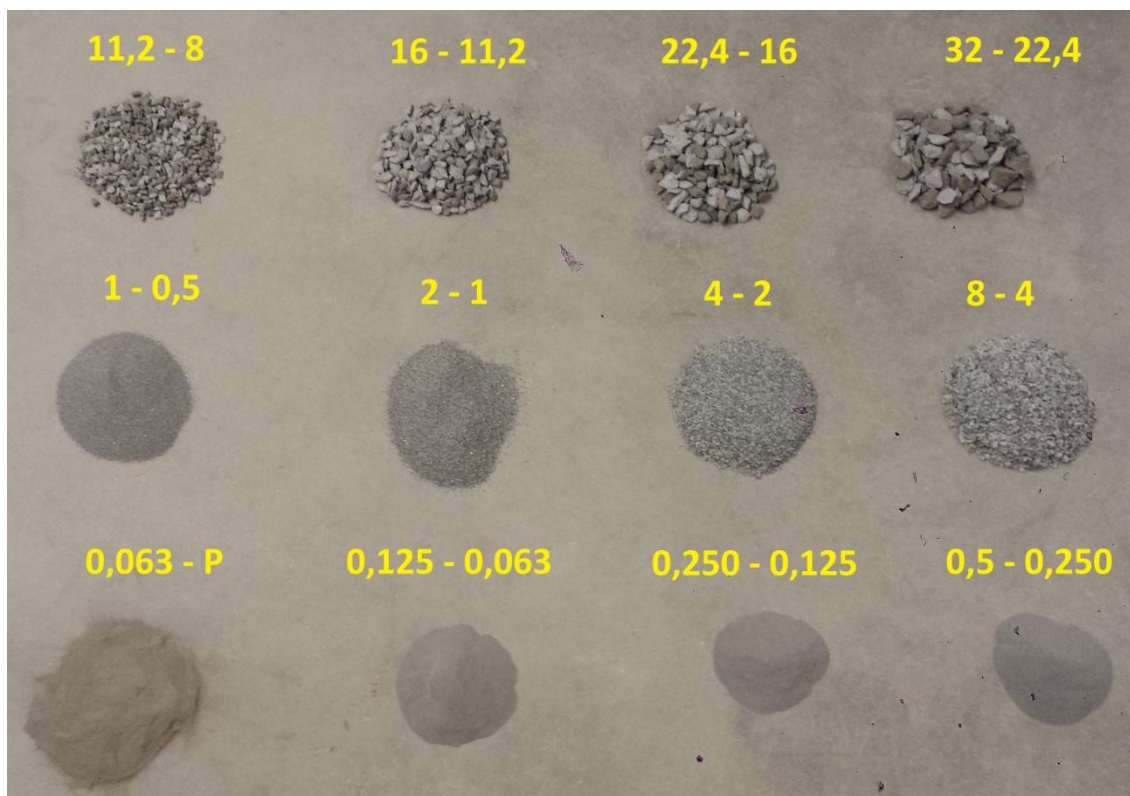
3.1.6 Mechanicky spevnené kamenivo

Zmes mechanického kameniva bola vytvorená v laboratóriu zmiešaním jednotlivých frakcií tak, aby sa jej výsledná krivka zrnitosti čo najviac približovala Fullerovej parabole. Zmes bola vytvorená zmiešaním vyššie opísaných ŠDA Libochovany a ŠDB Plaňany. Výsledná frakcia materiálu je 0/32. Návrhová krivka zrnitosti pre MZK je zobrazená v Grafe 7.

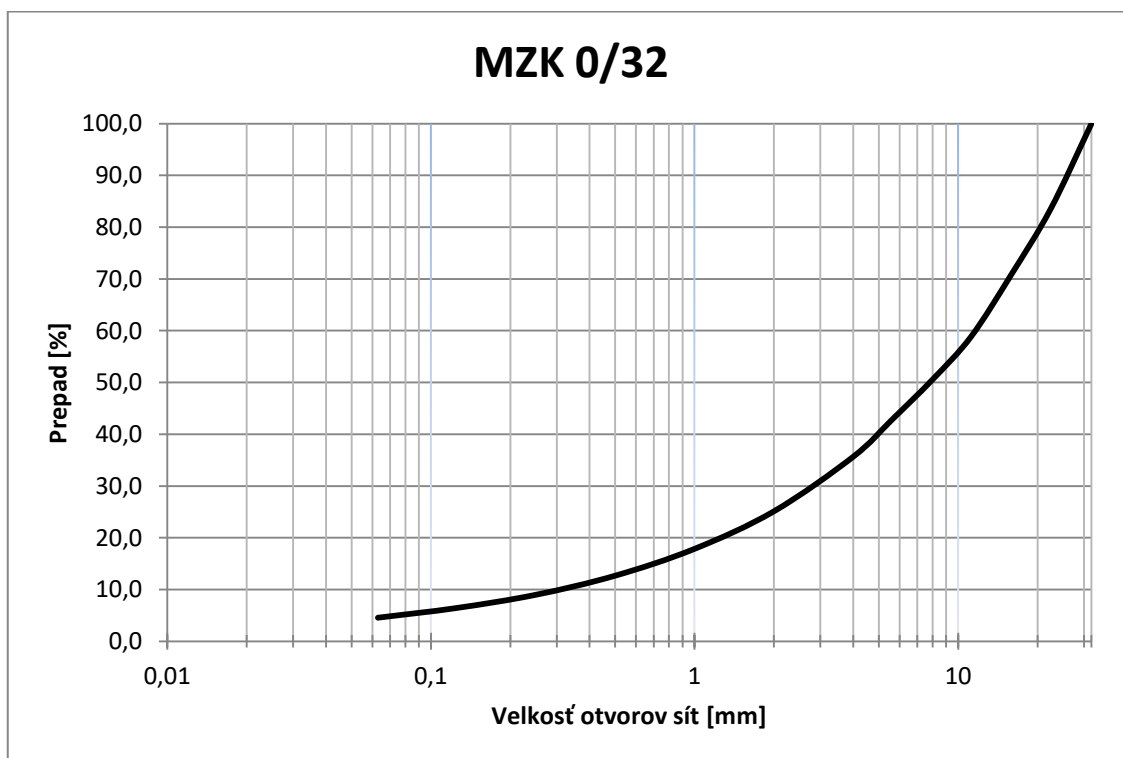


Graf 8 : Návrhová krivka zrnitosti pre MZK 0/32

Pomocou preosievacích sít sa postupne preosialo približne 30 kg materiálu ŠDA Libochovany a 25 kg materiálu ŠDB Plaňany. Jednotlivé frakcie sa zväžili a potrebné množstvo materiálu sa uložilo na kôpky, na čistú betónovú plochu (Obrázok 13). Podarilo sa pripraviť materiál pre prípravu 18 kg mechanicky spevneného kameniva keďže obidva materiály obsahovali malé množstvo častíc menších ako 0,5 mm. Následne sa všetky kôpky premiešali do jednej homogénnej zmesi. Vyrobená zmes sa podrobila sitovému rozboru aby sa overilo, či krivka zrnitosti vyrobeného materiálu odpovedá skutočnosti. Výsledok sitového rozboru je zobrazený v Grafe 7.



Obrázok 13 : Jednotlivé frakcie na prípravu MZK 0/32



Graf 9 : Krivka zrnitosti MZK 0/32

3.2 Proctorova skúška

Skúška zhutiteľnosti bola prevedená podľa normy ČSN EN 13286-2. Pomocou skúšky sa určí vzájomný vzťah medzi vlhkosťou a objemovou hmotnosťou suchej zmesi a určí sa optimálna vlhkosť, pri ktorej je dosiahnuté pre zvolenú hutniacu energiu maximálna objemová hmotnosť suchej zmesi. Optimálna vlhkosť je nevyhnutná pre správnu výrobu skúšobných telies.

3.2.1 Postup skúšky

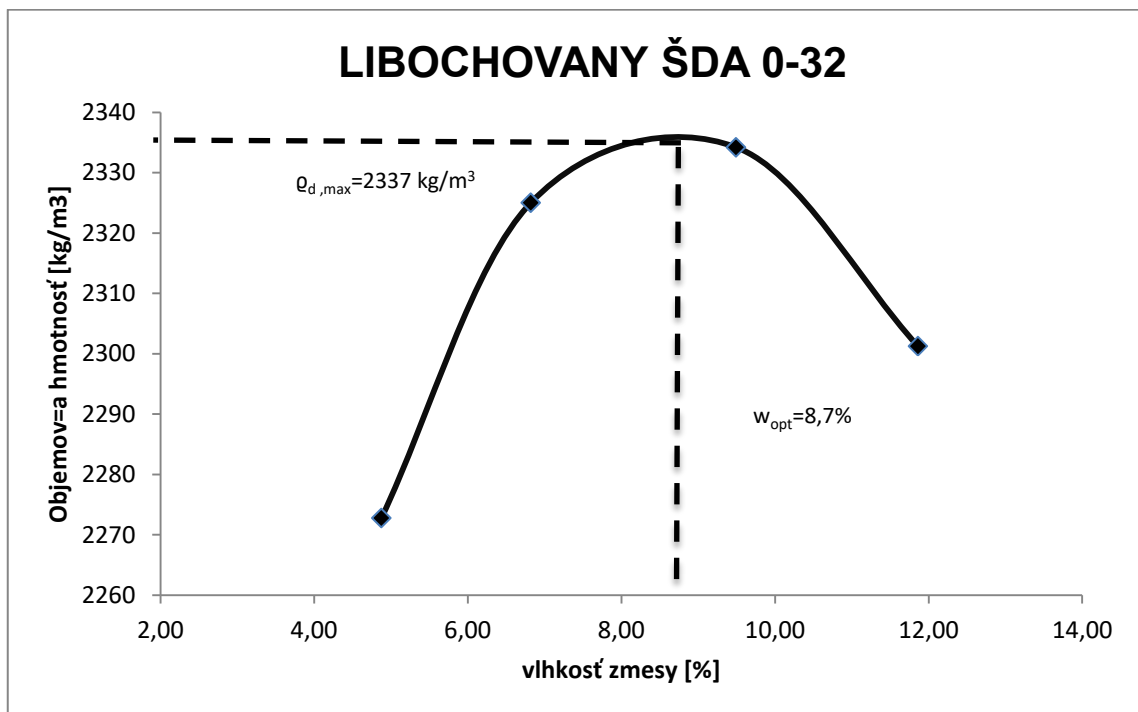
Pre každý typ materiálu boli vyrobené jednotlivé dávky zmesí o rôznych vlhkosťach. Do jednej dávky bolo potrebné pripraviť navlhčenú zmes o hmotnosti cca. 5,5 kg. Bola prevedená Modifikovaná Proctorova skúška. Ubíjadlo o hmotnosti 4,5 kg a s priemerom dosadacej plochy 50 mm, dopadajúcim z výšky 457 mm na povrch vzorka. Zmesi sa hutnili v piatich vrstvách vo forme s priemerom 150 mm a výškou 120 mm. Po skončení hutnení sa prebytočná zmes odstránila a zvažila sa celá forma aj so zmesou. Zo stredu formy sa odobralo asi 60 g materiálu potrebnému k určeniu vlhkosti.



Obrázok 14 : Forma naplnená zhutnenou zmesou pripravená k vážaniu

3.2.2 Vyhodnotenie skúšky

Podľa vzťahov opísaných v kapitole 2.3.2 sa vypočítala objemová hmotnosť každého zhutneného telesa. Výsledky sa vyniesli do grafu a preniesli spojitou krivkou. Poloha maxima predstavuje maximálnu objemovú hmotnosť suchej zmesi a odpovedajúcej optimálnej vlhkosti prislúchajúcemu bodu. V Grafe 9 je znázornená ukážka vyhodnotenia Proctorovej skúšky pre zmes ŠDA 0/32 Libochovany. Zvyšné vyhodnotenia sa nachádzajú v protokoloch prílohovej časti tejto diplomovej práce. V Tabuľke 9 sú zobrazené súhrnné hodnoty pre maximálne objemové hmotnosti suchých zmesí a prislúchajúce optimálne vlhkosti.



Graf 10 : Ukážka vyhodnotenia Proctorovej skúšky na ŠDA Libochovany 0/32

Tabuľka 9 : Súhrnné výsledky skúšky Proctor Modifikovaný

Druh	Frakcia	Názov zmesi	$\sigma_{d,max}$ [kg. m ⁻³]	w_{opt} [%]
MZ	0/22	Těškov	2236	9,2
MZ	0/22	Horní Tašovice	2488	9,9
ŠDB	0/32	Plaňany	2385	6,1
ŠDA	0/32	Libochovany	2337	8,7
MZK	0/32	Plaňany + Libochovany	2323	8,9

3.3 Skúška pre stanovenie IBI a CBR

Skúška, podľa ktorej sa zistil Kalifornský pomer únosnosti CBR a okamžitý index únosnosti IBI bol prevedený podľa normy ČSN EN 13286-47. Skúška bola prevedená v rovnakej forme, v akej sa zisťovala maximálna objemová zhutniteľnosť pomocou Proctor Modifikovaný, tzn. valcového tvaru s vnútorným priemerom dna 150 mm a výškou 120 mm.

3.3.1 Postup skúšky

Zmes s optimálnou vlhkosťou bola vo forme zhutnená pomocou Proctorovho prístroja pri zhutňovacej energii Proctor Modifikovaný. Po zhutnení zmesi sa pristúpilo ihneď k skúške IBI. Pri skúške CBR bolo nutné nechať teleso saturovať po dobu štyroch dní v nádobe s vodou. Pred saturáciou bolo nutné skúšobné teleso obrátiť hore dnom, teda jeho pôvodne spodná strana sa stala stranou hornou. Pri saturácii bolo teleso celé pod hladinou vody. Naplnená forma ležala na filtračnom papieri, pod ktorým bola dierovaná podkladová doska. Na hornom povrchu bol taktiež umiestnený filtračný papier, na ktorom boli uložené priťažovacie prstence simulujúce nadložné vrstvy pôsobiace v konštrukcii vozovky. Ďalší priebeh skúšky je aj pre IBI aj pre CBR rovnaký. Jediný rozdiel je, že pri stanovení IBI sa nepoužívajú priťažovacie prstence, ktoré sú položené na vrchnej strane zhutneného telesa počas zaťažovania lisom. Skúšobné teleso bolo ďalej umiestnené do zaťažovacieho lisu, ktorý doň vháňal trň o rýchlosti 1,27 mm/min. Počas celej doby boli zaznamenávané príslušné hodnoty zaťaženia lisu. Skúška bola ukončená, keď penetrácia dosiahla 10 mm.

3.3.2 Vyhodnotenie skúšky

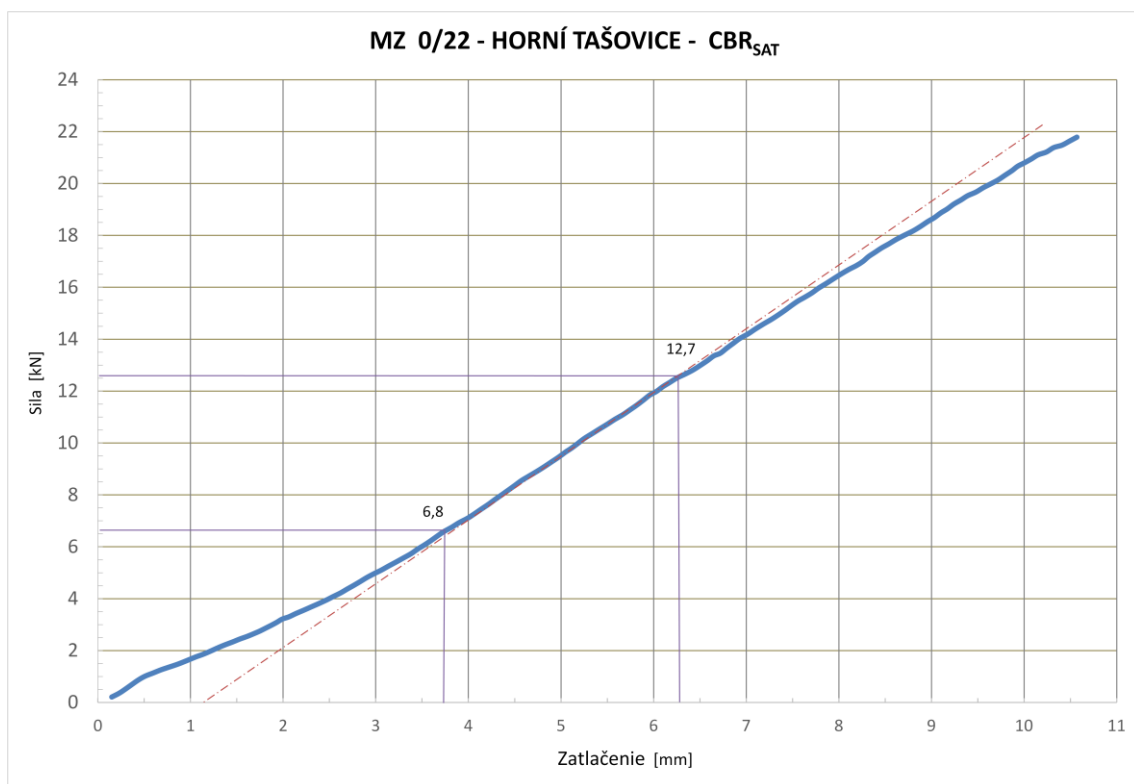
Pre každé skúšobné teleso sa vytvoril graf, do ktorého sa vyniesli hodnoty penetrácie a sily potrebnej k zatlačeniu trňa. Vytvorila krivka, na ktorej sa odčítali hodnoty sily odpovedajúcej penetrácii 2,5 mm a 5 mm. Tieto hodnoty sily sa vyjadrili ako pomer k referenčnej sile, ktorá je stanovená na 13,2 kN pre penetráciu 2,5 mm a 20 kN pre penetráciu 5 mm. V Grafe 10 je zobrazená ukážka vyhodnotenia skúšky CBR na vzorku MZ Horní Tašovice. V Tabuľke 10 a Tabuľke 11 sa nachádzajú výsledky skúšok CBR a IBI pre všetky skúšané zmesi a v Grafe 11 sú zobrazené súhrnné výsledky pomocou stĺpcového diagramu.



Obrázok 16 : Skúška IBI



Obrázok 15 : Skúška CBR



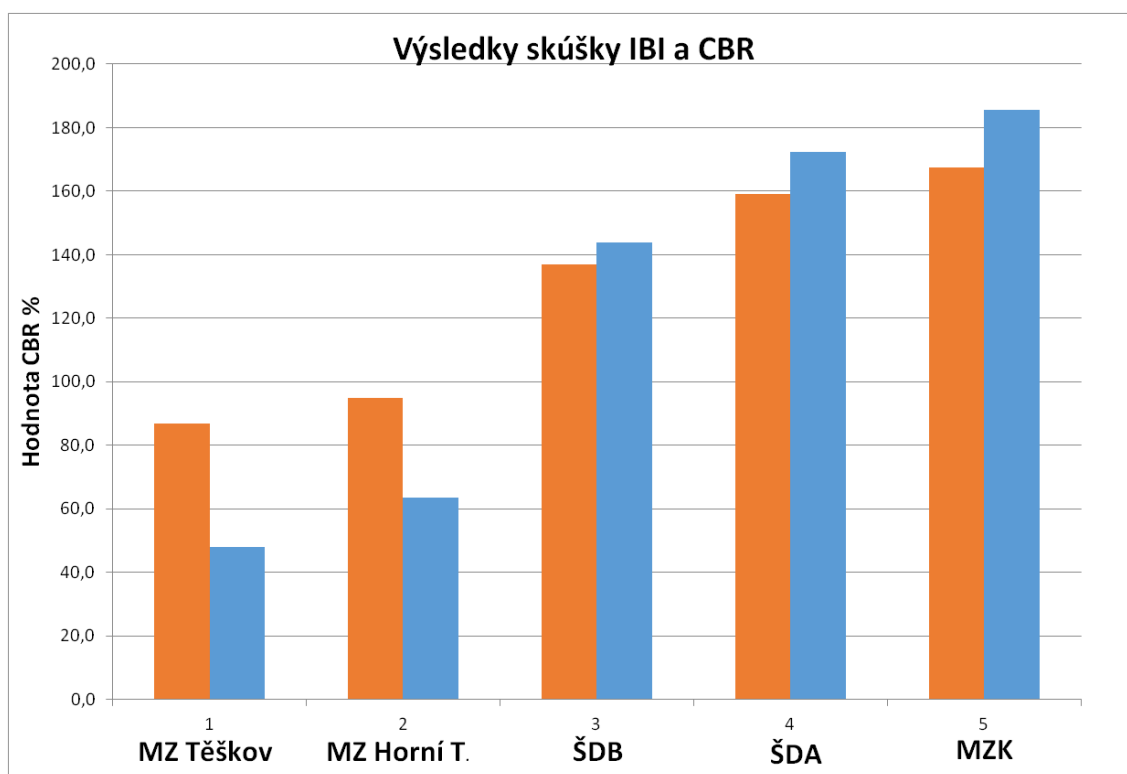
Graf 11 : Ukážka vyhodnotenia skúšky IBI a CBR

Tabuľka 10 : Súhrnné výsledky pre skúšku IBI

Číslo	Druh	Frakcia	Názov zmesi	Sila 2,5mm [kN]	Sila 5mm [kN]	IBI 2,5mm [kN]	IBI 5mm [kN]	IBI [%]
1	MZ	0/22	Těškov	9,0	17,4	68,2	87,0	87,0
2	MZ	0/22	Horní Tašovice	10,1	19,0	76,5	95,0	95,0
3	ŠDB	0/32	Plaňany	13,5	27,4	102,3	137,0	137,0
4	ŠDA	0/32	Libochovany	16,0	31,8	121,2	159,0	159,0
5	MZK	0/32	Plaňany + Libochovany	17,2	33,5	130,3	167,5	167,5

Tabuľka 11 : Súhrnné výsledky pre skúšku CBR_{SAT}

Číslo	Druh	Frakcia	Názov zmesi	Sila 2,5mm	Sila 5mm [kN]	CBR 2,5mm	CBR 5mm [kN]	CBR _{sat} [%]
1	MZ	0/22	Těškov	5,1	9,6	38,6	48,0	48,0
2	MZ	0/22	Horní Tašovice	6,8	12,7	51,5	63,5	63,5
3	ŠDB	0/32	Plaňany	14,0	28,8	106,1	144,0	144,0
4	ŠDA	0/32	Libochovany	17,5	34,5	132,6	172,5	172,5
5	MZK	0/32	Plaňany + Libochovany	18,5	37,1	140,2	185,5	185,5



Graf 12: Súhrnné výsledky skúšky IBI a CBR v stĺpcovom diagrame

3.4. Cyklická triaxiálna skúška

Cyklická triaxiálna skúška a rovnako aj následné určenie modulu pružnosti bolo prevedené podľa normy ČSN EN 13286-7. Podrobný postup a princíp skúšky je vysvetlený v kapitole 2.4.

3.4.1 Príprava skúšobných telies

Podľa normy ČSN EN 13286-7 by rozmery a tvar skúšobného telesa pre cyklickú skúšku mali byť nasledovné. Bolo zvolené teleso v tvare valca s priemerom 100 mm a výškou 120 mm. Rozmery neodpovedajú norme, ale boli zvolené na základe obmedzení prístroja, ktorý bol pre túto skúšku k dispozícii. Ďalším dôvodom bolo, že skúšobné telesá sú vyrobené z nestmelených zmesí. Skúšobné teleso o výške 200 mm vyrobené z nestmelených zmesí sa po predchádzajúcich skúsenostiach ukázalo ako veľmi náchylné na porušenie pri manipulácii a viedlo k veľkému počtu neúspešných skúšok.

Ako prvé sa pripravili zmesi o optimálnej vlhkosti, pri ktorej dosiahne skúšaná zmes maximálnu objemovú hmotnosť, ktorú sme zistili pomocou Proctorovej skúšky v kapitole 3.2. Celkovo bude treba vyrobiť 15 telies o vyššie uvedených rozmeroch. Z každého druhu materiálu tri kusy. Výroba skúšobných telies prebieha pomocou ručného hydraulického lisu, ktorý sa nachádza v ocelevej konštrukcii. Do konštrukcie sa upevní forma a podľa vypočítanej objemovej hmotnosti sa nasype do formy také množstvo materiálu, aby malo výsledné teleso požadované rozmery. Po naplnení formy materiálom sa zvrchu pridá zaťažovacia podložka, na ktorú bude vyvíjaný tlak. Ručná pumpa vyvíja na zaťažovaciu podložku tlak 200 kPa po dobu jednej minúty. Po zhutnení sa môže opatrne rozobrať forma. Teleso sa nechá pri izbovej teplote vysušiť. Dôležité pre čo najpresnejší výsledok pri skúške je to, aby všetky telesá boli vytvorené za rovnakých podmienok. Na Obrázku 17 je zobrazená ručná hydraulická pumpa s hydraulickým lisom v ocelevej konštrukcii. Na Obrázku 18 a 19 sú zobrazené vyrobené skúšobné telesá.



Obrázok 17 : Ručná hydraulická pumpa s hydraulickým lisom v ocelevej konštrukcii



Obrázok 18 : Skúšobné telesá vzorky MZ 0/22 Tašovice



Obrázok 19 : Skúšobné telesá vzorky ŠDB 0/32 Plaňany

3.4.2 Postup skúšky

Cyklická triaxiálna skúška prebiehala podľa normy ČSN EN 13286-7, metóda B – úroveň nízkeho napätia. Ako prvé prebehlo kondicionovanie skúšobného telesa pri komorovom tlaku 70 kPa a deviátore napätia 200 kPa tak, aby bolo dosiahnuté elastické chovanie vzorku a nedochádzalo pri meraní k plastickým deformáciám. Následne prebehlo samotné meranie. V Tabuľke 12 je ukážka z protokolu kde je zobrazené spektrum napätia pri ktorom prebehlo meranie. Pre každý riadok prebehlo 100 zaťažovacích cyklov.

Tabuľka 12 : Ukážka z protokolu cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZK 0/32

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_r
1	20	20	40	20,30	28,96	49,26	0,00023	214,17
2	20	35	55	21,90	38,95	60,85	0,00038	160,13
3	20	50	70	22,00	60,01	82,01	0,00042	195,26
4	20	70	90	26,30	74,82	101,12	0,00049	206,37
5	35	35	70	35,01	40,08	75,09	0,00028	268,18
6	35	50	85	35,02	60,64	95,66	0,00030	318,87
7	35	70	105	34,70	78,60	113,30	0,00040	283,25
8	35	90	125	34,90	99,87	134,77	0,00042	320,88
9	35	120	155	35,01	119,25	154,26	0,00050	308,52
10	50	50	100	49,78	57,48	107,26	0,00020	536,30
11	50	70	120	50,32	69,68	120,00	0,00031	387,10
12	50	90	140	48,80	92,88	141,68	0,00035	404,80
13	50	120	170	50,30	120,38	170,68	0,00038	449,16
14	50	160	210	49,80	148,75	198,55	0,00044	451,25
15	70	70	140	68,93	75,98	144,91	0,00025	579,64
16	70	90	160	70,10	88,95	159,05	0,00030	530,17
17	70	120	190	69,80	123,35	193,15	0,00033	585,30
18	70	160	230	75,32	158,65	233,97	0,00036	649,92
19	70	200	270	69,99	200,58	270,57	0,00047	575,68
20	100	90	190	99,99	88,98	188,97	0,00028	674,89
21	100	120	220	102,80	137,25	240,05	0,00032	750,16
22	100	160	260	108,90	168,25	277,15	0,00038	729,34
23	100	200	300	105,70	220,35	326,05	0,00054	603,80
24	100	240	340	97,84	260,58	358,42	0,00058	617,97
25	150	120	270	152,35	131,42	283,77	0,00035	810,77
26	150	160	310	149,87	158,74	308,61	0,00039	791,31
27	150	200	350	154,98	199,99	354,97	0,00048	739,52
28	150	240	390	147,33	235,02	382,35	0,00050	764,70
29	150	300	450	145,66	287,68	433,34	0,00071	610,34

3.4.3 Vyhodnotenie skúšky

V tejto kapitole sú výsledky prehľadne zhrnuté a vyhodnotené. Podrobný výpočet výsledkov pre každú skúšobnú vzorku je zobrazený v tabuľkách a grafoch prílohovej časti tejto diplomovej práce.

Hodnoty získané cyklickou triaxiálnou skúškou boli vyhodnotené v programe Excel a výsledkom pre každú skúšanú vzorku je tabuľka so sadou hodnôt. Hodnoty sú normové a namerané. Vyhodnotenie obsahuje aj pracovný diagram pomerného pretvorenia a zvislého napätia. Ďalším grafickým zobrazením je závislosť modulu pružnosti na zvislom napätí pri rôznych komorových hodnotách ktoré simulujú bočné tlaky okolitej zeminy na skúšobné teleso. Bočný tlak okolitej zeminy klesá spolu s hĺbkou.

Moduly pružností jednotlivých zmesí sú stanovené ako intervaly hodnôt pri určitom komorovom tlaku. Tento interval bol určený ako priemer intervalov z troch skúšaných vzoriek. Odlišné hodnoty boli z výpočtov vylúčené. V tabuľke 13 sú zobrazené súhrnné výsledky z cyklickej triaxiálnej skúšky.

Tabuľka 13 : Súhrnné vyhodnotenie cyklickej triaxiálnej skúšky

Druh	Frakcia	Názov zmesi	Modul pružnosti E_r [MPa]		
			Komorový tlak 35 - 50 kPa	Komorový tlak 50 - 70 kPa	Komorový tlak 70 -100 kPa
MZ	0/22	Těškov	110 - 180	140 - 210	170 - 260
MZ	0/22	Horní Tašovice	130 - 200	170 - 240	260 - 340
ŠDB	0/32	Plaňany	170 - 240	260 - 310	390 - 470
ŠDA	0/32	Libochovany	180 - 260	270 - 320	500 - 580
MZK	0/32	Plaňany + Libochovany	260 - 340	380 - 480	600 - 740

3.5 Súhrnné vyhodnotenie skúšok

V Tabuľke 14 sa nachádzajú súhrnné výsledky všetkých dôležitých charakteristík daných materiálov. Modul pružnosti v tejto tabuľke predstavuje hodnotu pri komorovom tlaku 70 – 100 kPa s ktorou sa bude v ďalšej časti pracovať. Tabuľka 15 zobrazuje hodnoty návrhového modulu pružnosti E_r vybraných materiálov z TP 170. Z výsledkov je zrejmé, že konkrétne vybrané materiály dosahujú návrhové hodnoty z TP 170. Vo výsledkoch taktiež vidno určitú závislosť medzi CBR a modulmi pružnosti.

Tabuľka 14 : Zhrnutie výsledkov laboratórnych skúšok

Druh	Frakcia	Názov zmesi	$\sigma_{d,max}[kg.m^{-3}]$	$w_{opt}[\%]$	IBI [%]	CBR _{sat} [%]	Modul pružnosti E_r [MPa]
MZ	0/22	Těškov	2236	9,2	87,0	48,0	170 - 260
MZ	0/22	Horní Tašovice	2488	9,9	95,0	63,5	260 - 340
ŠDB	0/32	Plaňany	2385	6,1	137,0	144,0	390 - 470
ŠDA	0/32	Libochovany	2337	8,7	159,0	172,5	500 - 580
MZK	0/32	Plaňany + Libochovany	2323	8,9	167,5	185,5	600 - 740

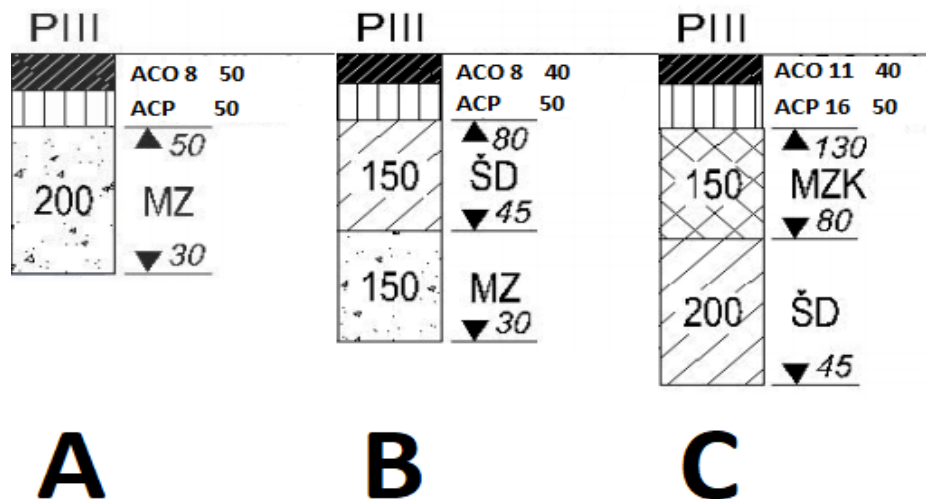
Tabuľka 15 : Návrhový modul pružnosti vybraných materiálov podľa TP 170[10]

Druh	Návrhový modul pružnosti E_r [MPa]
MZ	150
ŠD	400
MZK	600

3.6 Posúdenie únosnosti skladby vozovky pomocou výpočtového programu

V tejto kapitole budú vybraté tri návrhy vozoviek z katalógových listov TP 170. Pomocou programu LayEPS sa vytvoria návrhy vozoviek a následne sa pomocou predchádzajúcich výsledkov pokúsi zhodnotiť vplyv zistených rozdielov, či už po ekonomickej stránke, ale aj po stránke životnosti a únosnosti vzhľadom na dopravné zaťaženie.

Aby bolo možné porovnať jednotlivé výsledky, budú vybraté také skladby vozoviek, aby sa všetky druhy skúšaných materiálov (MZ, ŠD, MZK) nachádzali približne v rovnakej hĺbke vzhľadom na vozovku.



Obrázok 20 : Návrh skladby vozovky podľa TP 170

3.6.1 Posúdenie únosnosti vozovky A

Do výpočtového programu LayEPS boli zadané parametre vybraných skladieb vozovky z TP 170. V Tabuľke 16 je znázornené posúdenie skladby vozovky A pri zhodných parametroch s TP 170. V Tabuľke 17 už bol nahradený návrhový modul pružnosti E_r za vypočítaný modul pružnosti z cyklickej triaxiálnej skúšky. Táto zmena umožnila zvýšiť intenzitu z $TNVo = 8$ na $TNVo = 14$. V Tabuľke 18 zostala intenzita dopravného zaťaženia nezmenená ale menila sa hrúbka konštrukčnej vrstvy MZ. Zvýšený modul pružnosti umožňuje znížiť konštrukčnú hrúbku MZ o 40 mm.

Tabuľka 16 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky A (podľa TP170)

	tl [mm]	Er [MPa]	mí-s	e6-s	B	spol
ACO +	50	7500	0,33	135	5	0
ACP +	50	5500	0,33	100	5	0
MZ	200	150	0,3	0	0	0
Zaťaženie				Podložie		
Úroveň porušenia	D1			Typ		PIII
TNVo	8			Epodl.		50
TNVc	43779			Vodný režim		pendulárny
Polomer	120,3	[mm]		Namrzavosť		mierna
Intenzita	-0,55	[MPa]		Pois. Č.		0,35
Pomerne porušenie=	0,9393		<	1		Vyhovuje

Tabuľka 17 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky A (zvyšená intenzita)

	tl [mm]	Er [MPa]	mí-s	e6-s	B	spol
ACO +	50	7500	0,33	135	5	0
ACP +	50	5500	0,33	100	5	0
MZ	200	300	0,3	0	0	0
Zaťaženie				Podložie		
Úroveň porušenia	D1			Typ		PIII
TNVo	14			Epodl.		50
TNVc	76614			Vodný režim		pendulárny
Polomer	120,3	[mm]		Namrzavosť		mierna
Intenzita	-0,55	[MPa]		Pois. Č.		0,35
Pomerne porušenie=	0,9386		<	1		Vyhovuje

Tabuľka 18 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky A (zmenšená hrúbka MZ)

	tl [mm]	Er [MPa]	mí-s	e6-s	B	spol
ACO +	50	7500	0,33	135	5	0
ACP +	50	5500	0,33	100	5	0
MZ	160	300	0,3	0	0	0
Zaťaženie				Podložie		
Úroveň porušenia	D1			Typ		PIII
TNVo	8			Epodl.		50
TNVc	43779			Vodný režim		pendulárny
Polomer	120,3	[mm]		Namrzavosť		mierna
Intenzita	-0,55	[MPa]		Pois. Č.		0,35
Pomerne porušenie=	0,9595		<	1		Vyhovuje

3.6.2 Posúdenie únosnosti vozovky B

V Tabuľke 19 je znázornené posúdenie skladby vozovky B pri zhodných parametroch s TP 170. V Tabuľke 20 už bol nahradený návrhový modul pružnosti E_r za vypočítaný modul pružnosti z cyklickej triaxiálnej skúšky. Táto zmena umožnila zvýšiť intenzitu z $TNV_o = 33$ na $TNV_o = 45$. Pri takomto prípade skladby vozovky nie je možné zredukovať výšku konštrukčnej vrstvy vozovky, keďže minimálna hodnota je 150 mm.

Tabuľka 19 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky B (podľa TP170)

	tl [mm]	E_r [MPa]	mí-s	e6-s	B	spol
ACO +	40	7500	0,33	135	5	0
ACP +	50	5500	0,33	100	5	0
SD	150	400	0,3	0	0	0
MZ	150	150	0,3	0	0	0
Zaťaženie				Podložie		
Úroveň porušenia	D1			Typ		PIII
TNV _o	33			Epodl.		50
TNV _c	180589			Vodný režim		pendulárny
Polomer	120,3	[mm]		Namrzavosť		mierna
Intenzita	-0,55	[MPa]		Pois. Č.		0,35
Pomerne porušenie=	0,9963		<	1	Vyhovuje	

Tabuľka 20 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky B (zvýšená intenzita)

	tl [mm]	E_r [MPa]	mí-s	e6-s	B	spol
ACO +	40	7500	0,33	135	5	0
ACP +	50	5500	0,33	100	5	0
SD	150	540	0,3	0	0	0
MZ	150	150	0,3	0	0	0
Zaťaženie				Podložie		
Úroveň porušenia	D1			Typ		PIII
TNV _o	45			Epodl.		50
TNV _c	246258			Vodný režim		pendulárny
Polomer	120,3	[mm]		Namrzavosť		mierna
Intenzita	-0,55	[MPa]		Pois. Č.		0,35
Pomerne porušenie=	0,9985		<	1	Vyhovuje	

3.6.3 Posúdenie únosnosti vozovky C

V Tabuľke 21 je znázornené posúdenie skladby vozovky C pri zhodných parametroch s TP 170. V Tabuľke 22 už bol nahradený návrhový modul pružnosti E_r za vypočítaný modul pružnosti z cyklickej triaxiálnej skúšky. Táto zmena umožnila zvýšiť intenzitu z $TNVo = 319$ na $TNVo = 353$.

Tabuľka 21 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky C (podľa TP 170)

	tl [mm]	E_r [MPa]	mí-s	e6-s	B	spol
ACO +	40	7500	0,33	135	5	0
ACP +	60	5500	0,33	100	5	0
MZK	150	600	0,25	0	0	0
SD	200	400	0,3	0	0	0
Zaťaženie						
Úroveň porušenia	D1		Podložie		Typ	
TNVo	319		Epodl.		PIII	
TNVc	1745695		Vodný režim		pendulárny	
Polomer	120,3	[mm]	Namrzavosť		mierna	
Intenzita	-0,55	[MPa]	Pois. Č.		0,35	
Pomerné porušenie=	0,9978	<	1	Vyhovuje		

Tabuľka 22 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky C (zvýšená únosnosť)

	tl [mm]	E_r [MPa]	mí-s	e6-s	B	spol
ACO +	40	7500	0,33	135	5	0
ACP +	60	5500	0,33	100	5	0
MZK	150	675	0,25	0	0	0
SD	200	400	0,3	0	0	0
Zaťaženie						
Úroveň porušenia	D1		Podložie		Typ	
TNVo	353		Epodl.		PIII	
TNVc	1931756		Vodný režim		pendulárny	
Polomer	120,3	[mm]	Namrzavosť		mierna	
Intenzita	-0,55	[MPa]	Pois. Č.		0,35	
Pomerné porušenie=	0,9999	<	1	Vyhovuje		

4 Záver

Hlavným cieľom tejto diplomovej práce bolo stanovenie modulu pružnosti E_r pre vybrané nestmelené zmesi a následne tieto výsledky porovnať s návrhovými hodnotami modulu pružnosti E_r z technických predpisov TP 170 – Navrhování vozovek pozemních komunikací. Dôvodom bolo overiť, či návrhové moduly pružnosti v predpise TP 170, ktoré vychádzajú zo štatisticky overených údajov, starých niekoľko desiatok rokov, odpovedajú realite súčasnosti, keďže v minulosti bolo ich určenie technicky náročnejšie a nedostupnejšie a z toho dôvodu boli tieto hodnoty vo veľkej miere prevzaté a ovplyvnené zahraničnými výskumami. V teoretickej časti sa podarilo objasniť, že namáhanie jednotlivých vrstiev vozovky je dynamické a premenlivé a modul pružnosti dobre vystihuje všestranné namáhanie pôsobiace v konštrukčných vrstvách vozovky pri zaťažení dopravou. Potvrdili to aj zahraničné skúsenosti, ktoré už v minulosti poukazovali na pôsobenie konštrukčných vrstiev vo vozovke ako na vrstevnatý polopriestor, kde vrstvy medzi sebou spolupôsobia a vzájomne sa ovplyvňujú. To dokazujú aj výsledky cyklickej triaxiálnej skúšky, kde sa overilo, že je veľmi dôležité, v akej hĺbke sa posudzovaná vrstva nachádza. Pri rozdielnych vodorovných napätiach, ktoré charakterizujú pôsobenie okolitých vrstiev daného materiálu, dostávame rôzne výsledky modulu pružnosti. Výsledky cyklickej triaxiálnej skúšky pri vybraných nestmelených zmesiach splnili moduly pružnosti, ktoré sú dané v TP170. Dokonca pri mechanicky spevnenej zemine zmeraná hodnota modulu pružnosti bola dvakrát vyššia a pri štrkodrti prekročila hodnota modulu pružnosti o 140 MPa. To má rozhodne vplyv na celkový výpočet únosnosti a očakávanej doby životnosti vozovky v závislosti na dopravnom zaťažení. To sa následne overilo v Programe LayEPS, kde sa vymodelovali rôzne skladby vozoviek a prepočítalo sa, že hrúbka počítanej konštrukčnej vrstvy sa môže zmenšiť o 40 mm pri dosiahnutí rovnakej únosnosti alebo je možné zanechať pôvodnú hrúbku konštrukčnej vrstvy a dosiahnuť tým zvýšenú intenzitu, ktorú je vozovka schopná preniesť.

Ďalším cieľom bolo sledovať závislosť medzi nameranými a vypočítanými hodnotami modulu pružnosti E_r z cyklickej triaxiálnej skúšky a skúškami CBR a IBI. Výsledky ukázali závislosť medzi týmito skúškami. Pri nestmelených zmesiach s rastúcim CBR a IBI stúpa aj modul pružnosti, ale nedokáže dostatočne presne určiť správanie daného materiálu, keďže skúška je veľmi elementárna a pracuje

v obmedzených podmienkach, kde nedovoľuje modelovať spolupôsobenie ostatných materiálov a tým pádom dosahuje veľké nepresnosti.

Pre zavedenie skúšania nestmelených zmesí cyklickým triaxiálnym prístrojom je potrebné overiť výsledky na štatisticky významnejšom súbore, ale zo závislostí overených v práci je zrejmý veľmi dobrý simulačný efekt tejto funkčnej skúšky.

5 Zoznam použitých zdrojov

- [1] ČSN EN 13286-47 (736185) *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání*. ICS 93.080.20, Praha: ÚNMZ, listopad 2012.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [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, ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005.
- [5] 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.
- [6] ČSN EN 933-1, *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [7] **PODKLADNÍ VRSTVY A NAVRHOVÁNÍ VOZOVEK: Realizace staveb pozemních komunikací** [online]. In: KUDRNA, Jan. Brno, 2011 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://www.vzdelavanimke kvalite.cz/PDFs/Podkladn%C3%AD%20vrstvy.pdf>
- [8] **PRAKTICKÉ APLIKACE V POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH: MODUL 07 NESTMELENÉ PODKLADNÍ VRSTVY 1**. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ, 2006
- [9] MOHYLA, Marek. **KALIFORNSKÝ POMĚR ÚNOSNOSTI**. In: *SILNIČNÍ A GEOTECHNICKÁ LABORATOŘ podklady do cvičení*. Ostrava, 2014

- [10] TP 170. *Navrhování vozovek pozemních komunikací - dodatek: TECHNICKÉ PODMÍNKY*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010.
- [11] KORKIALA-TANTTU, Leena. Calculation method for permanent deformation of unbound pavement materials [online]. Helsinki University of Technology, 2008 [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2008/p702.pdf>. Disertační práce.
- [12] 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. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=628>
- [13] ARM, Maria. MECHANICAL PROPERTIES OF RESIDUES AS UNBOUND ROAD MATERIALS. [online]. Stockholm, 2003 [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.swedgeo.se/globalassets/publikationer/rapporter/pdf/sgi-r64.pdf> 7
- [14] 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. 2018-01-08]. Dostupné z: http://www.stavebniinzenyrstvi.cz/wp-content/uploads/2014/09/PK_navrhovani_-a_-stavba.pdf
- [15] HEPNER, Urban. Vlastne vytvorené fotografie, vlastne vytvorené tabulky a grafy, 2016

6 Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Určenie návrhového modulu pružnosti podložia	16
Tabuľka 2 : Určenie návrhovej hodnoty modulu pružnosti.....	16
Tabuľka 3: Požadované minimálne hodnoty pretvárnosti podložia	20
Tabuľka 4 : Úroveň napätia pri kondicionaní, metoda A [2].....	31
Tabuľka 5 : Úroveň napätia pri kondicionaní, metoda B [2].....	32
Tabuľka 6 : Úroveň napätia pre pružné chovanie metódou A [2]	32
Tabuľka 7 : Úroveň napätia pre pružné chovanie metódou B [2]	33
Tabuľka 8 : Úroveň napätia pre viacstupňový skúšobný postup	34
Tabuľka 9 : Súhrnné výsledky skúšky Proctor Modifikovaný	43
Tabuľka 10 : Súhrnné výsledky pre skúšku IBI	46
Tabuľka 11 : Súhrnné výsledky pre skúšku CBR _{SAT}	46
Tabuľka 12 : Ukážka z protokolu cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZK 0/32	49
Tabuľka 13 : Súhrnné vyhodnotenie cyklickej triaxiálnej skúšky.....	50
Tabuľka 14 : Zhrnutie výsledkov laboratórnych skúšok	51
Tabuľka 15 : Návrhový modul pružnosti vybratých materiálov podľa TP 170	51
Tabuľka 16 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky A (podľa TP170).....	53
Tabuľka 17 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky A (zvýšená intenzita).....	53
Tabuľka 18 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky A (zmenšená hrúbka MZ)	53
Tabuľka 19 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky B (podľa TP170).....	54
Tabuľka 20 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky B (zvýšená intenzita).....	54
Tabuľka 21 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky C (podľa TP 170).....	55
Tabuľka 22 : Posúdenie únosnosti skladby vozovky C (zvýšená únosnosť).....	55
Tabuľka 23 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZK 0/32_1.....	65
Tabuľka 24 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZK 0/32_2.....	67
Tabuľka 25 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZK 0/32_3.....	69
Tabuľka 26 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku ŠDA 0/32_1	71
Tabuľka 27 : : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku ŠDA 0/32_2	73
Tabuľka 28 : : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku ŠDA 0/32_3	75
Tabuľka 29 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku ŠDB 0/32_1.....	77
Tabuľka 30 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku ŠDB 0/32_2.....	79
Tabuľka 31 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku ŠDB 0/32_3.....	81
Tabuľka 32 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZ-HT 0/22_1.....	83

Tabuľka 33 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZ-HT 0/22_2.....	85
Tabuľka 34 :Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZ-HT 0/22_3.....	87
Tabuľka 35 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZ-T 0/22_1.....	89
Tabuľka 36 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZ-T 0/22_2.....	91
Tabuľka 37 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZ-T 0/22_3.....	93

7 Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Znázornenie pôsobenia zaťaženia na konštrukciu vozovky	12
Obrázok 2: Príklad návrhu vozoviek s asfaltový krytom pre návrhovú úroveň	13
Obrázok 3: Napätie pôsobiace na teleso pri cyklickej triaxiálnej skúške.....	15
Obrázok 4: Presievačka pre sitový rozbor kameniva.....	21
Obrázok 5: Prístroj k prevedeniu skúšky Proctor Standard a Proctor Modifikovaný.....	22
Obrázok 6 : Schéma napätí pôsobiacich v triaxiálnom prístroji.....	27
Obrázok 7 : Triaxiálny prístroj	28
Obrázok 8: Hlavné časti cyklického triaxiálneho prístroja.....	29
Obrázok 9 : MZ 0/22 Těškov.....	36
Obrázok 10 : MZ 0/22 Horní Tašovice.....	37
Obrázok 11 : ŠDB 0/32 - Plaňany	38
Obrázok 12 : ŠDA 0/32 - Libochovany	39
Obrázok 13 : Jednotlivé frakcie na prípravu MZK 0/32.....	41
Obrázok 14 : Forma naplnená zhutnenou zmesou pripravená k váženiu	42
Obrázok 15 : Skúška CBR	45
Obrázok 16 : Skúška IBI.....	45
Obrázok 17 : Ručná hydraulická pumpa s hydraulickým lisom	48
Obrázok 18 : Skúšobné telesá vzorky MZ 0/22 Tašovice	48
Obrázok 19 : Skúšobné telesá vzorky ŠDB 0/32 Plaňany	48
Obrázok 20 : Návrh skladby vozovky podľa TP 170	52

8 Zoznam grafov

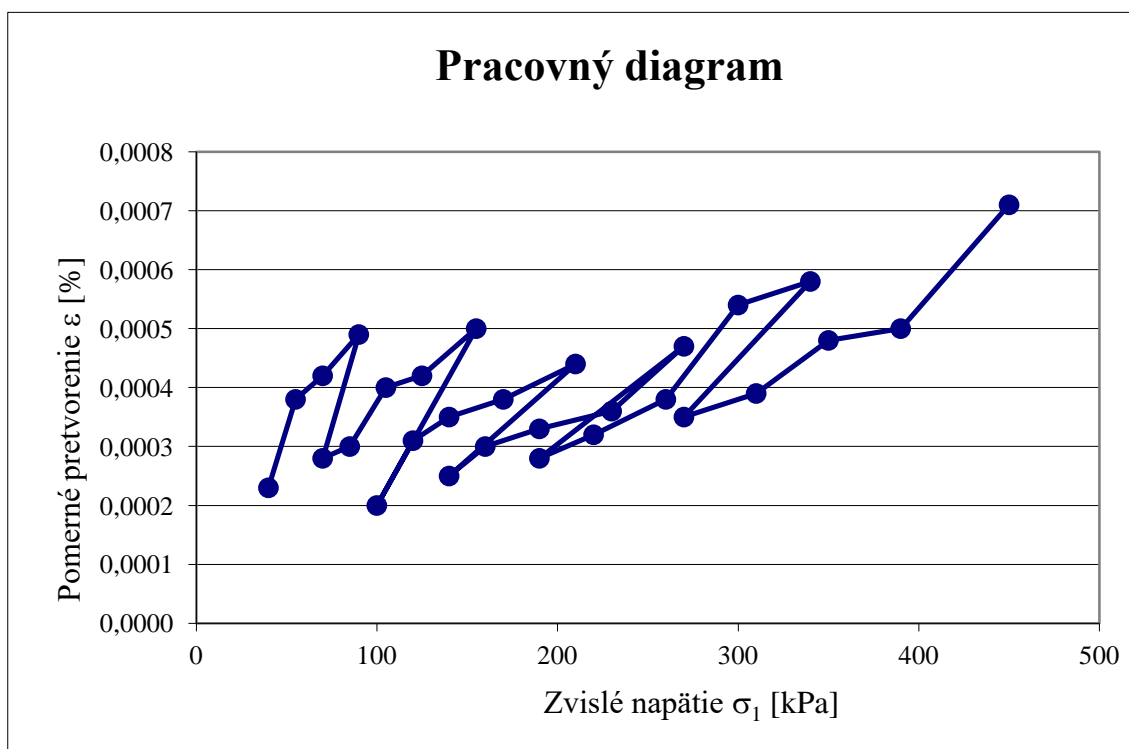
Graf 1: Kritérium filtrácie a priepustnosti	18
Graf 2 : Grafické vykreslenie krivky závislosti sily na penetrácii tŕňu	26
Graf 3 : Schéma napätí pôsobiacich v triaxiálnom prístroji	27
Graf 4 : Krivka zrnitosti MZ 0/22 Těškov	36
Graf 5 : Krivka zrnitosti Horní Tašovice MZ 0/22	37
Graf 6 : Krivka zrnitosti Plaňany ŠDB 0/32	38
Graf 7 : Krivka zrnitosti Libochovany ŠDA 0/32.....	39
Graf 8 : Návrhová krivka zrnitosti pre MZK 0/32.....	40
Graf 9 : Krivka zrnitosti MZK 0/32.....	41
Graf 10 : Ukážka vyhodnotenia Proctorovej skúšky na ŠDA Libochovany 0/32	43
Graf 11 :Ukážka vyhodnotenia skúšky IBI a CBR.....	45
Graf 12: Súhrnné výsledky skúšky IBI a CBR v stĺpcovom diagrame	46
Graf 13 : Pracovný diagram vzorku MZK 0/32_1	66
Graf 14 : Moduly pružnosti vzorku MZK 0/32_1	66
Graf 15 : Pracovný diagram vzorku MZK 0/32_2.....	68
Graf 16 : Moduly pružnosti vzorku MZK 0/32_2	68
Graf 17 : Pracovný diagram MZK 0/32_3.....	70
Graf 18 : Moduly pružnosti vzorku MZK 0/32_3	70
Graf 19 : Pracovný diagram vzorku ŠDA 0/32_1.....	72
Graf 20 : Moduly pružnosti vzorku ŠDA 0/32_1	72
Graf 21 : Pracovný diagram vzorku ŠDA 0/32_2.....	74
Graf 22 : Moduly pružnosti vzorku ŠDA 0/32_2	74
Graf 23 : Pracovný diagram vzorku ŠDA 0/32_3.....	76
Graf 24 : Moduly pružnosti vzorku ŠDA 0/32_3	76
Graf 25 : Pracovný diagram vzorku ŠDB 0/32_1.....	78
Graf 26 : Moduly pružnosti vzorku ŠDB 0/32_1	78
Graf 27: Pracovný diagram vzorku ŠDB 0/32_2.....	80
Graf 28 : Moduly pružnosti vzorku ŠDB 0/32_2	80
Graf 29 : Pracovný diagram vzorku ŠDB 0/32_3	82
Graf 30 : Moduly pružnosti vzorku ŠDB 0/32_3	82
Graf 31 : Pracovný diagram vzorku MZ-HT 0/22_1	84
Graf 32 : Moduly pružnosti vzorku MZ - HT 0/22_1.....	84

Graf 33 : Pracovní diagram vzorku MZ-HT 0/22_2.....	86
Graf 34 : Moduly pružnosti vzorku MZ-HT 0/22_2.....	86
Graf 35 : Pracovní diagram vzorku MZ-HT 0/22_3.....	88
Graf 36 : Moduly pružnosti vzorku MZ-HT 0/22_3.....	88
Graf 37 : Pracovní diagram MZ-T 0/22_1.....	90
Graf 38 : Moduly pružnosti vzorku MZ-T 0/22_1.....	90
Graf 39 : Pracovní diagram MZ-T 0/22_2.....	92
Graf 40 : Moduly pružnosti vzorku MZ-T 0/22_2.....	92
Graf 41 : Pracovní diagram vzorku MZ-T 0/22_3.....	94
Graf 42 : Moduly pružnosti vzorku MZ-T 0/22_3.....	94
Graf 43: Skúška IBI zmesi Horní Tašovice MZ 0/22.....	95
Graf 44 : Skúška IBI zmesi Těškov MZ 0/22.....	95
Graf 45 : Skúška IBI zmesi ŠDA 0/32 Libochovany.....	96
Graf 46 : Skúška IBI zmesi ŠDB 0/32 Plaňany.....	96
Graf 47 : Skúška IBI zmesi MZK 0/32.....	97
Graf 48 : Skúška CBR zmesi MZ 0/22 Těškov.....	97
Graf 49: Skúška CBR zmesi MZ 0/22 Horní Tašovice.....	98
Graf 50 : Skúška zmesi CBR ŠDA 0/32.....	98
Graf 51: Skúška CBR zmesi ŠDB 0/32 Plaňany.....	99
Graf 52 : Skúška CBR zmesi MZK 0/32.....	99

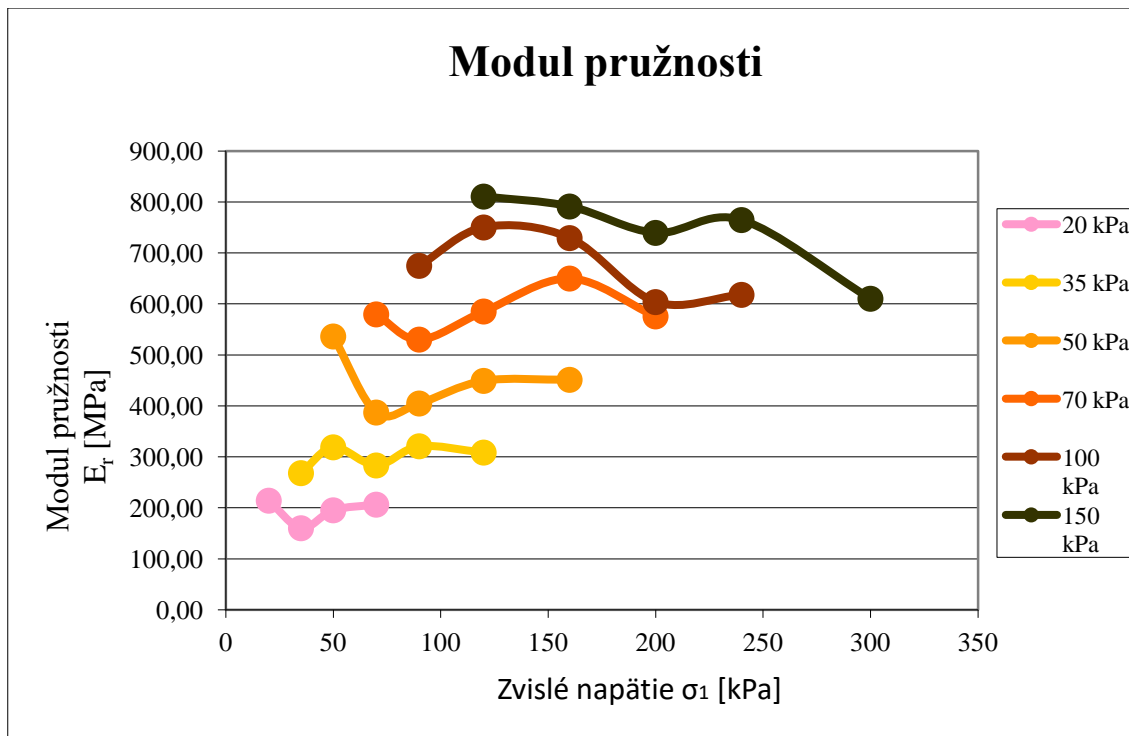
Príloha A–Podrobné výsledky triaxiálnej skúšky

Tabuľka 23 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZK 0/32_1

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_r
1	20	20	40	20,30	28,96	49,26	0,00023	214,17
2	20	35	55	21,90	38,95	60,85	0,00038	160,13
3	20	50	70	22,00	60,01	82,01	0,00042	195,26
4	20	70	90	26,30	74,82	101,12	0,00049	206,37
5	35	35	70	35,01	40,08	75,09	0,00028	268,18
6	35	50	85	35,02	60,64	95,66	0,00030	318,87
7	35	70	105	34,70	78,60	113,30	0,00040	283,25
8	35	90	125	34,90	99,87	134,77	0,00042	320,88
9	35	120	155	35,01	119,25	154,26	0,00050	308,52
10	50	50	100	49,78	57,48	107,26	0,00020	536,30
11	50	70	120	50,32	69,68	120,00	0,00031	387,10
12	50	90	140	48,80	92,88	141,68	0,00035	404,80
13	50	120	170	50,30	120,38	170,68	0,00038	449,16
14	50	160	210	49,80	148,75	198,55	0,00044	451,25
15	70	70	140	68,93	75,98	144,91	0,00025	579,64
16	70	90	160	70,10	88,95	159,05	0,00030	530,17
17	70	120	190	69,80	123,35	193,15	0,00033	585,30
18	70	160	230	75,32	158,65	233,97	0,00036	649,92
19	70	200	270	69,99	200,58	270,57	0,00047	575,68
20	100	90	190	99,99	88,98	188,97	0,00028	674,89
21	100	120	220	102,80	137,25	240,05	0,00032	750,16
22	100	160	260	108,90	168,25	277,15	0,00038	729,34
23	100	200	300	105,70	220,35	326,05	0,00054	603,80
24	100	240	340	97,84	260,58	358,42	0,00058	617,97
25	150	120	270	152,35	131,42	283,77	0,00035	810,77
26	150	160	310	149,87	158,74	308,61	0,00039	791,31
27	150	200	350	154,98	199,99	354,97	0,00048	739,52
28	150	240	390	147,33	235,02	382,35	0,00050	764,70
29	150	300	450	145,66	287,68	433,34	0,00071	610,34



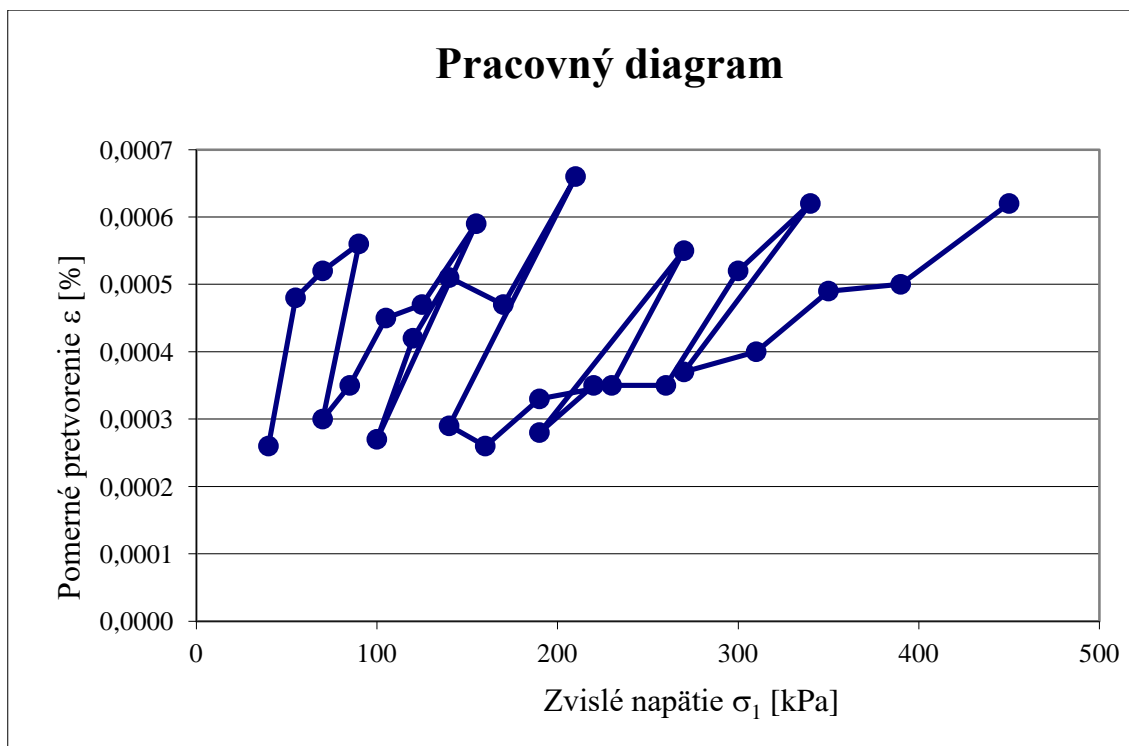
Graf 13 : Pracovný diagram vzorku MZK 0/32_1



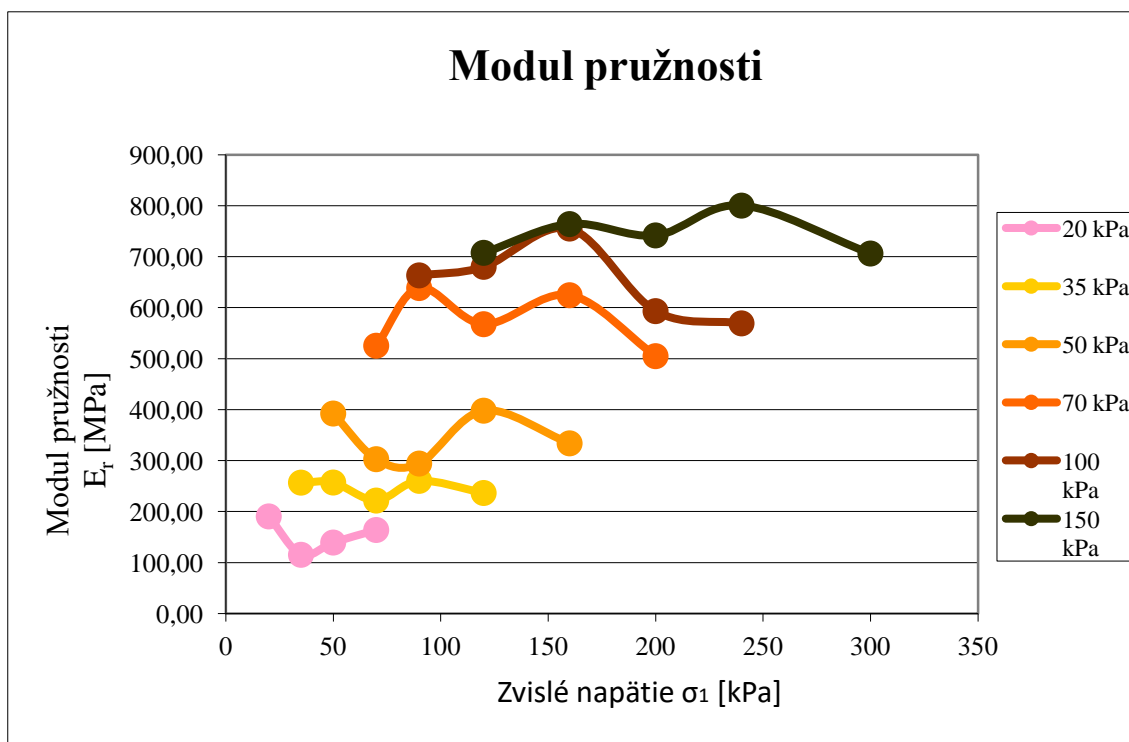
Graf 14 : Moduly pružnosti vzorku MZK 0/32_1

Tabuľka 24 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZK 0/32_2

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_r
1	20	20	40	19,99	29,58	49,57	0,00026	190,65
2	20	35	55	19,88	35,48	55,36	0,00048	115,33
3	20	50	70	24,22	48,25	72,47	0,00052	139,37
4	20	70	90	21,55	70,28	91,83	0,00056	163,98
5	35	35	70	34,12	42,95	77,07	0,00030	256,90
6	35	50	85	34,18	55,80	89,98	0,00035	257,09
7	35	70	105	35,20	64,58	99,78	0,00045	221,73
8	35	90	125	35,12	87,28	122,40	0,00047	260,43
9	35	120	155	33,80	105,80	139,60	0,00059	236,61
10	50	50	100	50,12	55,84	105,96	0,00027	392,44
11	50	70	120	50,32	76,90	127,22	0,00042	302,90
12	50	90	140	49,82	100,28	150,10	0,00051	294,31
13	50	120	170	51,22	135,87	187,09	0,00047	398,06
14	50	160	210	47,60	172,84	220,44	0,00066	334,00
15	70	70	140	69,82	82,57	152,39	0,00029	525,48
16	70	90	160	71,20	94,85	166,05	0,00026	638,65
17	70	120	190	68,60	118,75	187,35	0,00033	567,73
18	70	160	230	68,74	149,85	218,59	0,00035	624,54
19	70	200	270	63,48	214,28	277,76	0,00055	505,02
20	100	90	190	98,53	87,25	185,78	0,00028	663,50
21	100	120	220	103,25	134,85	238,10	0,00035	680,29
22	100	160	260	105,40	158,98	264,38	0,00035	755,37
23	100	200	300	99,99	208,56	308,55	0,00052	593,37
24	100	240	340	98,68	254,32	353,00	0,00062	569,35
25	150	120	270	151,28	110,58	261,86	0,00037	707,73
26	150	160	310	148,78	156,87	305,65	0,00040	764,13
27	150	200	350	152,98	210,54	363,52	0,00049	741,88
28	150	240	390	148,35	251,84	400,19	0,00050	800,38
29	150	300	450	153,28	284,65	437,93	0,00062	706,34



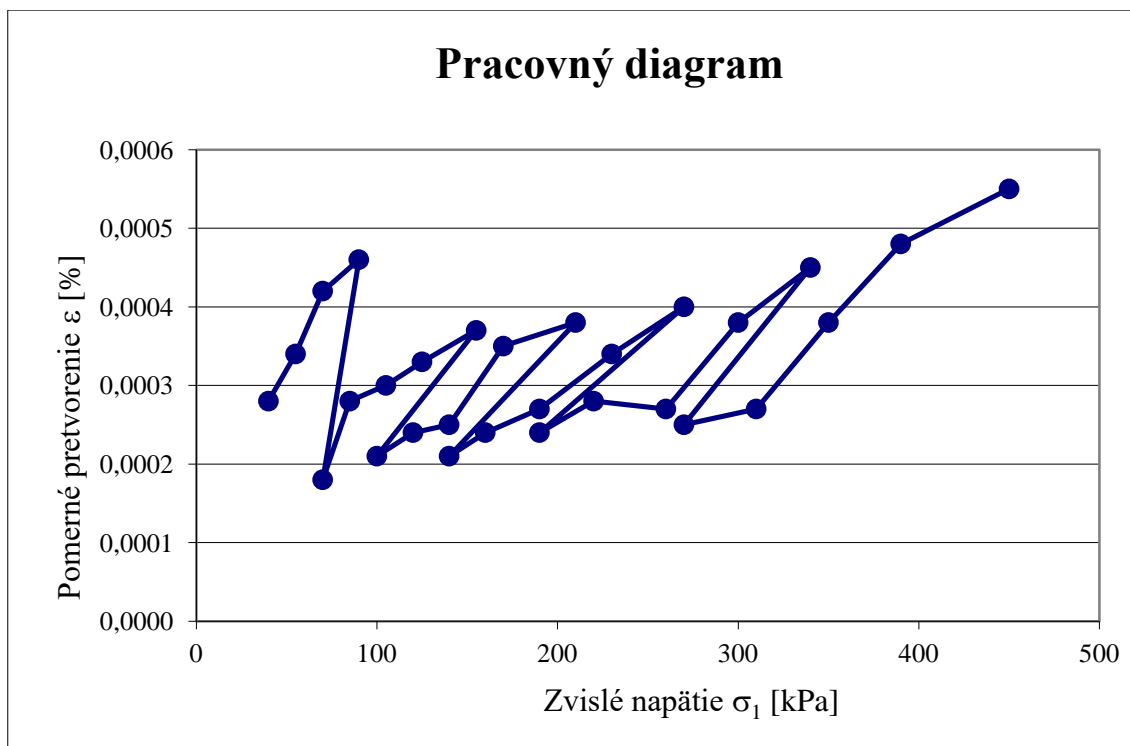
Graf 15 : Pracovný diagram vzorku MZK 0/32_2



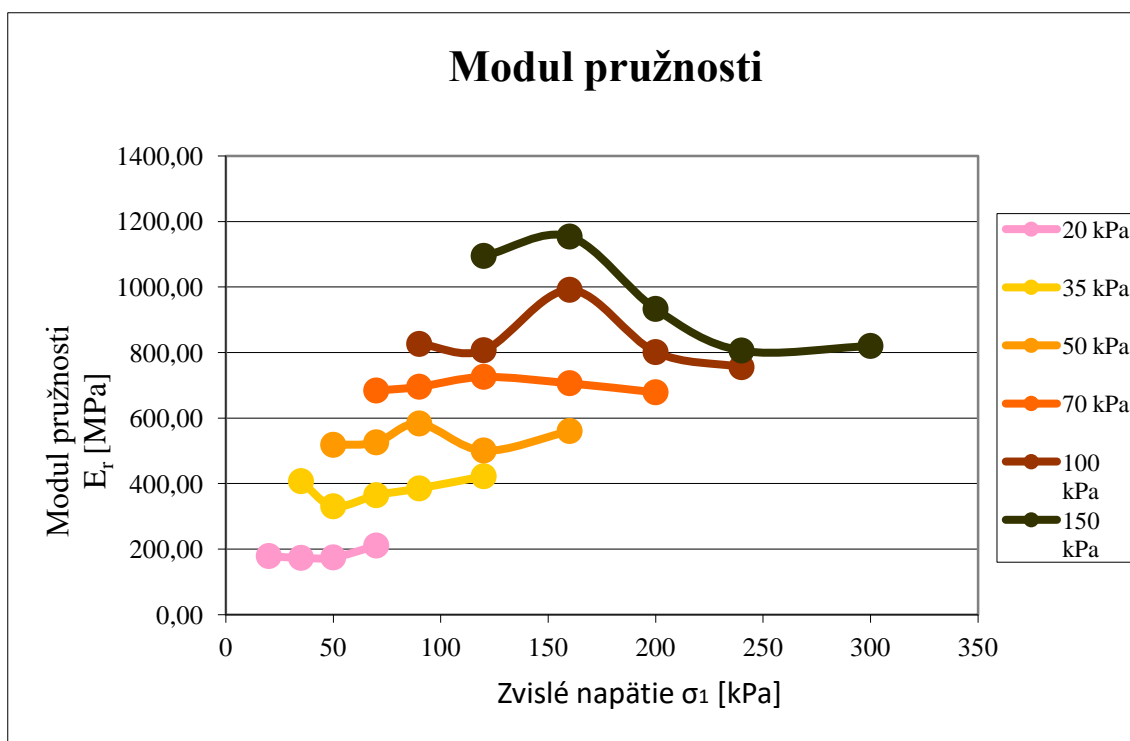
Graf 16 : Moduly pružnosti vzorku MZK 0/32_2

Tabuľka 25 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZK 0/32_3

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_r
1	20	20	40	25,81	24,24	50,05	0,00028	178,75
2	20	35	55	19,87	38,99	58,86	0,00034	173,12
3	20	50	70	20,01	53,32	73,33	0,00042	174,60
4	20	70	90	19,72	77,22	96,94	0,00046	210,74
5	35	35	70	35,01	38,28	73,29	0,00018	407,17
6	35	50	85	35,08	57,45	92,53	0,00028	330,46
7	35	70	105	34,98	74,32	109,30	0,00030	364,33
8	35	90	125	33,82	93,25	127,07	0,00033	385,06
9	35	120	155	32,74	123,48	156,22	0,00037	422,22
10	50	50	100	51,28	57,52	108,80	0,00021	518,10
11	50	70	120	49,88	76,28	126,16	0,00024	525,67
12	50	90	140	50,05	95,75	145,80	0,00025	583,20
13	50	120	170	51,84	123,45	175,29	0,00035	500,82
14	50	160	210	49,65	163,25	212,90	0,00038	560,26
15	70	70	140	70,02	73,58	143,60	0,00021	683,81
16	70	90	160	72,60	94,28	166,88	0,00024	695,33
17	70	120	190	69,99	125,94	195,93	0,00027	725,67
18	70	160	230	73,44	166,68	240,12	0,00034	706,24
19	70	200	270	68,58	202,78	271,36	0,00040	678,40
20	100	90	190	100,58	97,66	198,24	0,00024	826,00
21	100	120	220	101,25	124,64	225,89	0,00028	806,75
22	100	160	260	102,84	164,78	267,62	0,00027	991,19
23	100	200	300	103,84	200,55	304,39	0,00038	801,03
24	100	240	340	96,58	243,19	339,77	0,00045	755,04
25	150	120	270	150,87	122,78	273,65	0,00025	1094,60
26	150	160	310	148,35	163,14	311,49	0,00027	1153,67
27	150	200	350	152,21	202,27	354,48	0,00038	932,84
28	150	240	390	149,58	237,21	386,79	0,00048	805,81
29	150	300	450	147,66	303,28	450,94	0,00055	819,89



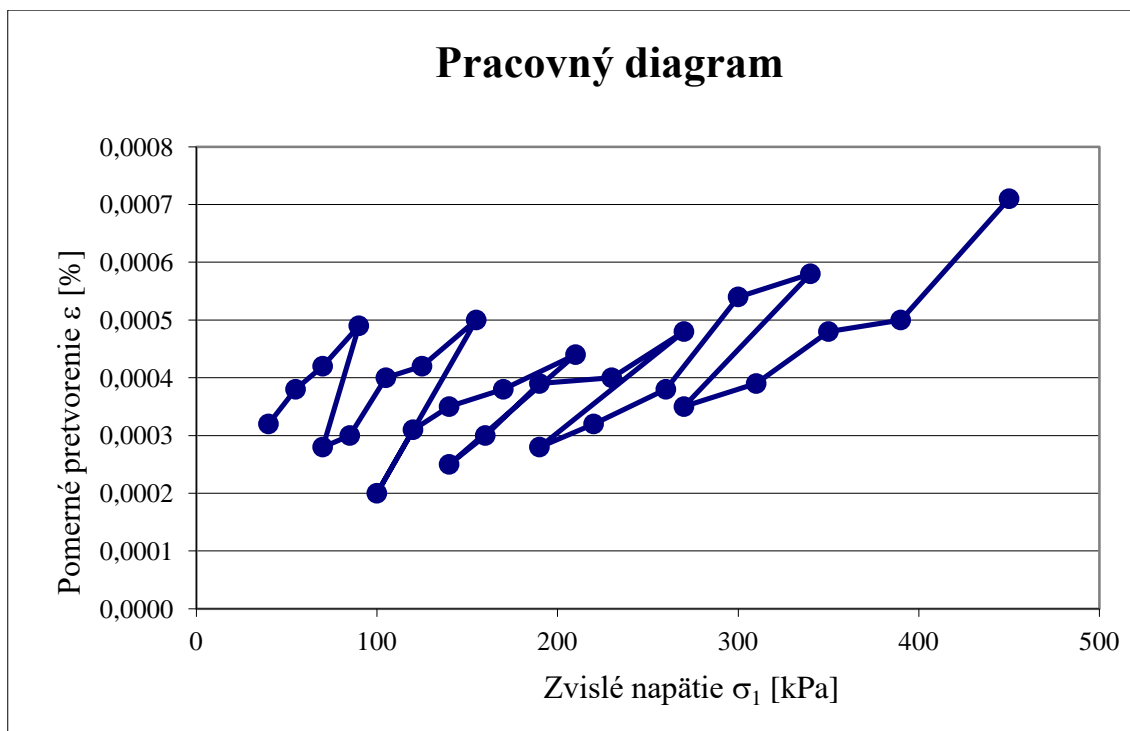
Graf 17 : Pracovný diagram MZK 0/32_3



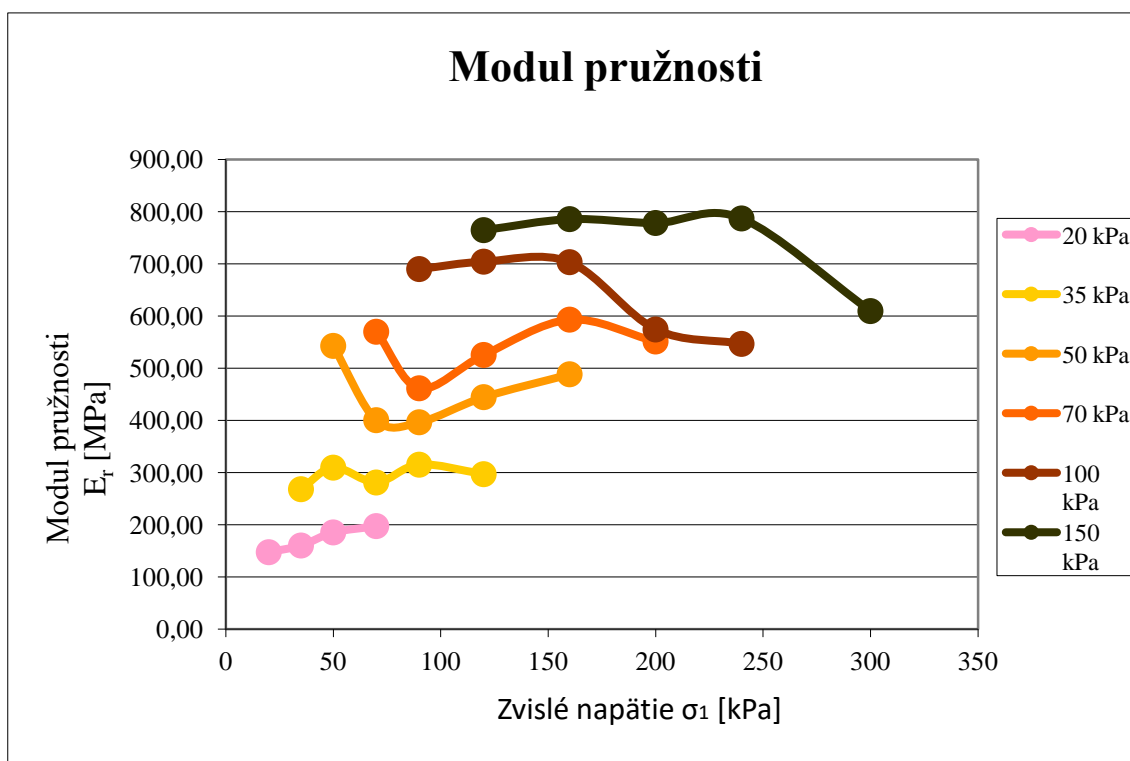
Graf 18 : Moduly pružnosti vzorku MZK 0/32_3

Tabuľka 26 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku ŠDA 0/32_1

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_r
1	20	20	40	20,28	26,88	47,16	0,00032	147,38
2	20	35	55	19,95	40,93	60,88	0,00038	160,21
3	20	50	70	21,85	55,98	77,83	0,00042	185,31
4	20	70	90	23,45	73,28	96,73	0,00049	197,41
5	35	35	70	34,98	40,08	75,06	0,00028	268,07
6	35	50	85	33,87	58,95	92,82	0,00030	309,40
7	35	70	105	36,89	75,48	112,37	0,00040	280,93
8	35	90	125	33,58	98,75	132,33	0,00042	315,07
9	35	120	155	32,58	115,85	148,43	0,00050	296,86
10	50	50	100	53,28	55,25	108,53	0,00020	542,65
11	50	70	120	55,12	68,98	124,10	0,00031	400,32
12	50	90	140	49,98	88,74	138,72	0,00035	396,34
13	50	120	170	53,22	115,68	168,90	0,00038	444,47
14	50	160	210	49,99	164,84	214,83	0,00044	488,25
15	70	70	140	75,58	66,85	142,43	0,00025	569,72
16	70	90	160	70,22	68,21	138,43	0,00030	461,43
17	70	120	190	70,34	134,52	204,86	0,00039	525,28
18	70	160	230	66,88	170,29	237,17	0,00040	592,93
19	70	200	270	64,54	199,98	264,52	0,00048	551,08
20	100	90	190	103,20	89,95	193,15	0,00028	689,82
21	100	120	220	101,88	123,40	225,28	0,00032	704,00
22	100	160	260	109,58	157,58	267,16	0,00038	703,05
23	100	200	300	99,78	210,23	310,01	0,00054	574,09
24	100	240	340	96,78	220,18	316,96	0,00058	546,48
25	150	120	270	151,87	115,68	267,55	0,00035	764,43
26	150	160	310	151,77	154,58	306,35	0,00039	785,51
27	150	200	350	163,25	210,25	373,50	0,00048	778,13
28	150	240	390	152,14	241,25	393,39	0,00050	786,78
29	150	300	450	147,95	284,69	432,64	0,00071	609,35



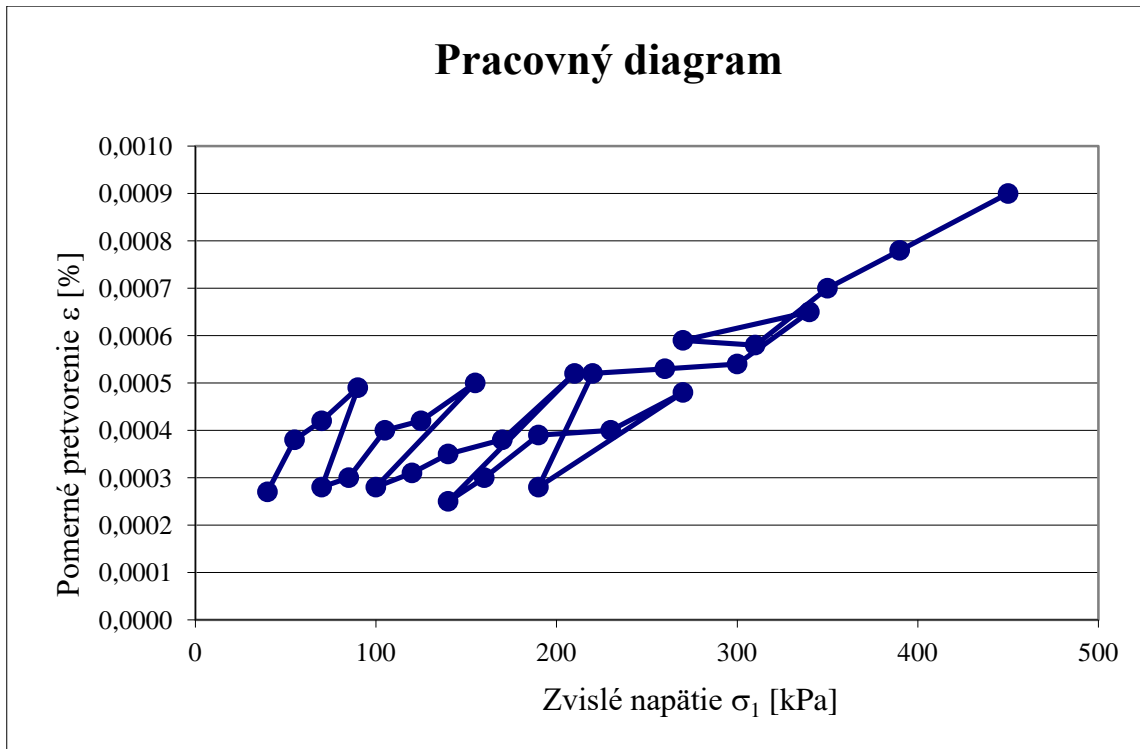
Graf 19 : Pracovný diagram vzorku ŠDA 0/32_1



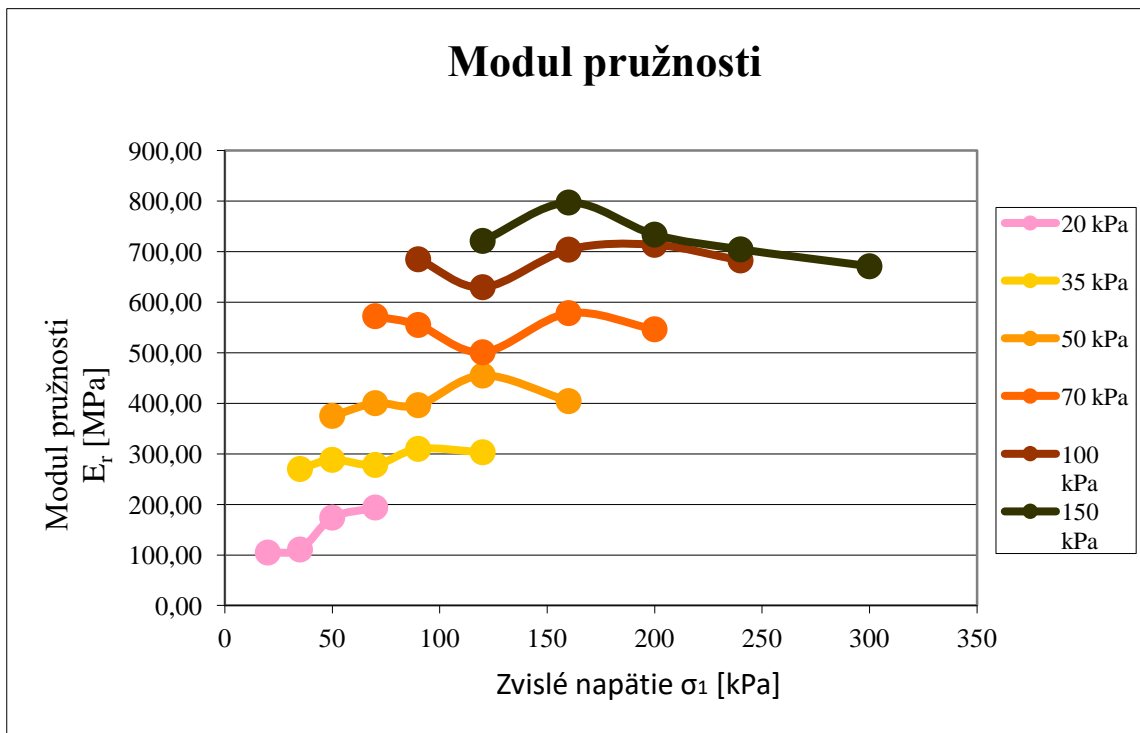
Graf 20 : Moduly pružnosti vzorku ŠDA 0/32_1

Tabuľka 27 : : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku ŠDA 0/32_2

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_t
1	20	20	40	2,00	26,29	28,29	0,00027	104,78
2	20	35	55	22,08	20,02	42,10	0,00038	110,79
3	20	50	70	19,77	53,25	73,02	0,00042	173,86
4	20	70	90	19,58	75,42	95,00	0,00049	193,88
5	35	35	70	35,08	40,54	75,62	0,00028	270,07
6	35	50	85	34,09	52,36	86,45	0,00030	288,17
7	35	70	105	37,99	73,25	111,24	0,00040	278,10
8	35	90	125	34,55	95,58	130,13	0,00042	309,83
9	35	120	155	33,69	117,89	151,58	0,00050	303,16
10	50	50	100	52,68	52,35	105,03	0,00028	375,11
11	50	70	120	54,22	69,87	124,09	0,00031	400,29
12	50	90	140	49,11	89,58	138,69	0,00035	396,26
13	50	120	170	53,01	119,85	172,86	0,00038	454,89
14	50	160	210	48,99	161,24	210,23	0,00052	404,29
15	70	70	140	74,55	68,54	143,09	0,00025	572,36
16	70	90	160	71,25	95,24	166,49	0,00030	554,97
17	70	120	190	69,68	125,68	195,36	0,00039	500,92
18	70	160	230	65,78	165,58	231,36	0,00040	578,40
19	70	200	270	63,28	198,99	262,27	0,00048	546,40
20	100	90	190	102,98	88,78	191,76	0,00028	684,86
21	100	120	220	108,75	218,68	327,43	0,00052	629,67
22	100	160	260	108,68	264,41	373,09	0,00053	703,94
23	100	200	300	98,68	286,58	385,26	0,00054	713,44
24	100	240	340	95,45	348,25	443,70	0,00065	682,62
25	150	120	270	150,25	275,28	425,53	0,00059	721,24
26	150	160	310	149,58	312,77	462,35	0,00058	797,16
27	150	200	350	158,68	354,85	513,53	0,00070	733,61
28	150	240	390	156,28	393,22	549,50	0,00078	704,49
29	150	300	450	148,35	455,58	603,93	0,00090	671,03



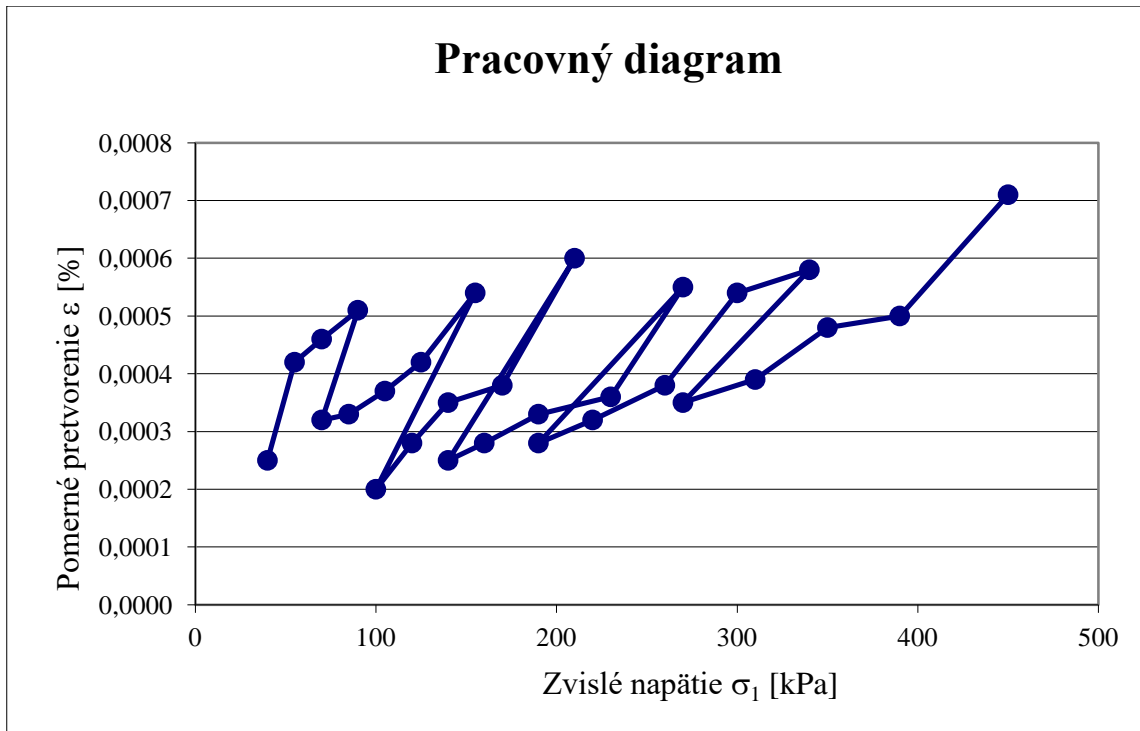
Graf 21 : Pracovný diagram vzorku ŠDA 0/32_2



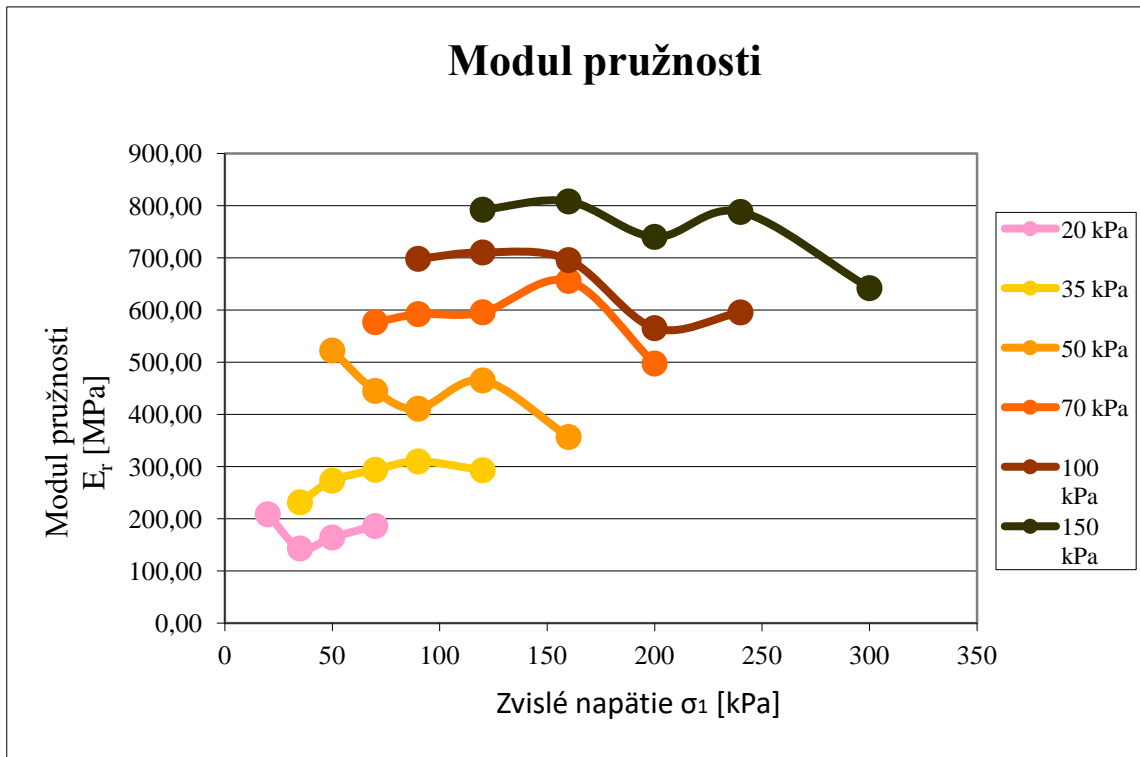
Graf 22 : Moduly pružnosti vzorku ŠDA 0/32_2

Tabuľka 28 : : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku ŠDA 0/32_3

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_r
1	20	20	40	25,69	26,46	52,15	0,00025	208,60
2	20	35	55	19,82	40,25	60,07	0,00042	143,02
3	20	50	70	19,43	56,05	75,48	0,00046	164,09
4	20	70	90	20,00	74,88	94,88	0,00051	186,04
5	35	35	70	33,85	40,25	74,10	0,00032	231,56
6	35	50	85	34,65	55,44	90,09	0,00033	273,00
7	35	70	105	33,90	74,80	108,70	0,00037	293,78
8	35	90	125	35,02	95,08	130,10	0,00042	309,76
9	35	120	155	35,01	123,20	158,21	0,00054	292,98
10	50	50	100	49,88	54,58	104,46	0,00020	522,30
11	50	70	120	50,14	74,44	124,58	0,00028	444,93
12	50	90	140	49,78	93,97	143,75	0,00035	410,71
13	50	120	170	50,38	126,32	176,70	0,00038	465,00
14	50	160	210	49,99	164,01	214,00	0,00060	356,67
15	70	70	140	69,52	74,63	144,15	0,00025	576,60
16	70	90	160	69,77	95,99	165,76	0,00028	592,00
17	70	120	190	70,20	126,33	196,53	0,00033	595,55
18	70	160	230	70,30	165,73	236,03	0,00036	655,64
19	70	200	270	69,97	203,58	273,55	0,00055	497,36
20	100	90	190	99,99	95,44	195,43	0,00028	697,96
21	100	120	220	100,03	127,21	227,24	0,00032	710,13
22	100	160	260	100,08	164,22	264,30	0,00038	695,53
23	100	200	300	100,12	205,06	305,18	0,00054	565,15
24	100	240	340	100,06	245,20	345,26	0,00058	595,28
25	150	120	270	149,68	127,55	277,23	0,00035	792,09
26	150	160	310	150,09	164,99	315,08	0,00039	807,90
27	150	200	350	150,18	205,02	355,20	0,00048	740,00
28	150	240	390	149,90	244,02	393,92	0,00050	787,84
29	150	300	450	151,22	304,47	455,69	0,00071	641,82



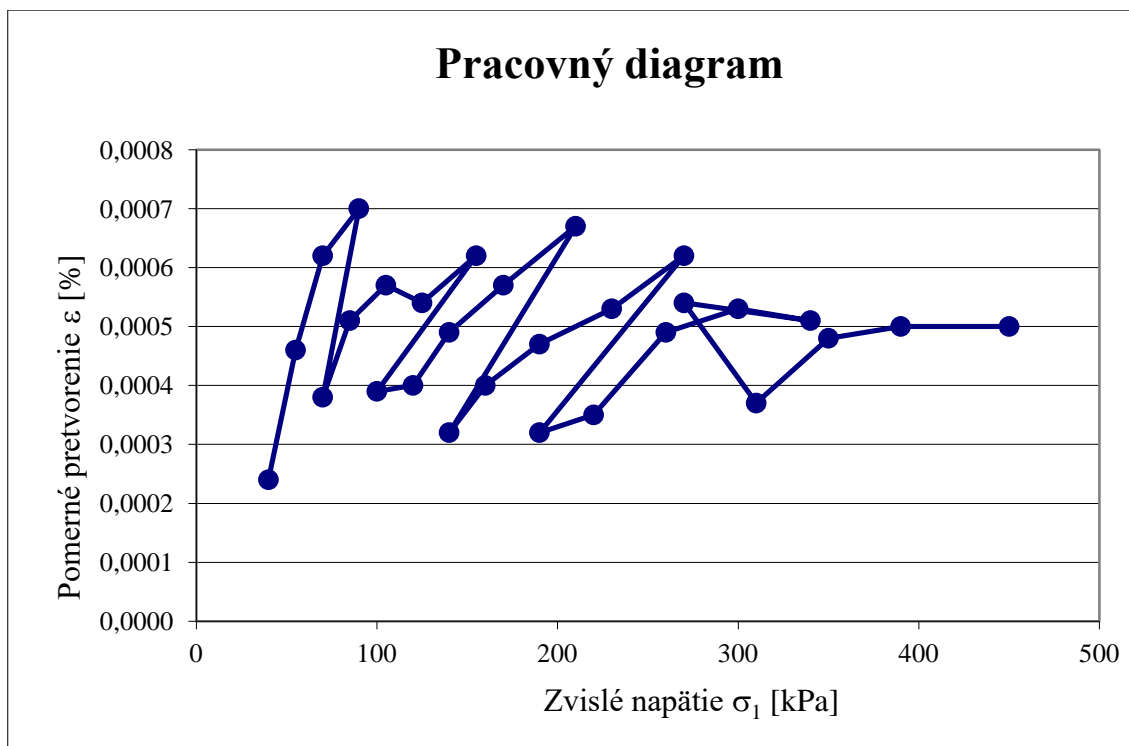
Graf 23 : Pracovný diagram vzorku ŠDA 0/32_3



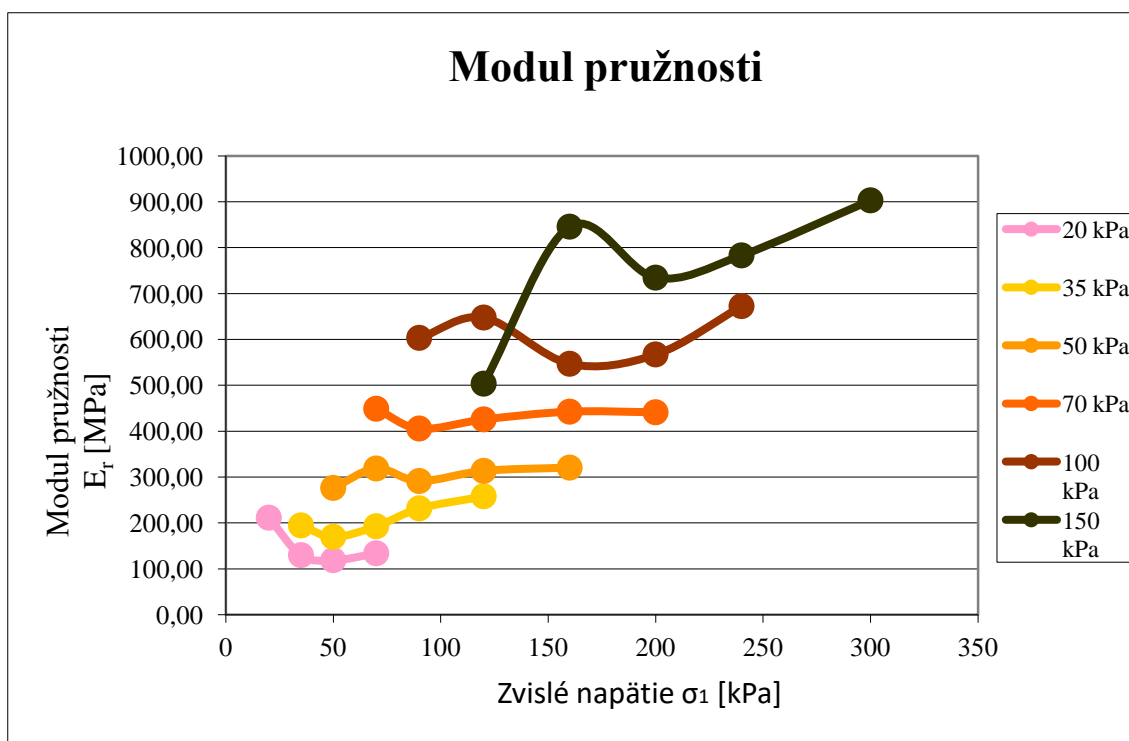
Graf 24 : Moduly pružnosti vzorku ŠDA 0/32_3

Tabuľka 29 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku ŠDB 0/32_1

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_r
1	20	20	40	25,64	25,05	50,69	0,00024	211,21
2	20	35	55	21,02	38,58	59,60	0,00046	129,57
3	20	50	70	20,68	52,85	73,53	0,00062	118,60
4	20	70	90	19,97	73,58	93,55	0,00070	133,64
5	35	35	70	32,28	41,58	73,86	0,00038	194,37
6	35	50	85	33,85	52,58	86,43	0,00051	169,47
7	35	70	105	33,87	75,88	109,75	0,00057	192,54
8	35	90	125	32,47	92,58	125,05	0,00054	231,57
9	35	120	155	34,99	124,95	159,94	0,00062	257,97
10	50	50	100	50,01	57,65	107,66	0,00039	276,05
11	50	70	120	50,00	77,35	127,35	0,00040	318,38
12	50	90	140	49,84	92,85	142,69	0,00049	291,20
13	50	120	170	49,85	128,68	178,53	0,00057	313,21
14	50	160	210	50,05	164,58	214,63	0,00067	320,34
15	70	70	140	69,99	73,58	143,57	0,00032	448,66
16	70	90	160	65,14	97,08	162,22	0,00040	405,55
17	70	120	190	71,28	128,69	199,97	0,00047	425,47
18	70	160	230	69,58	164,84	234,42	0,00053	442,30
19	70	200	270	70,88	202,54	273,42	0,00062	441,00
20	100	90	190	96,99	96,05	193,04	0,00032	603,25
21	100	120	220	101,33	125,28	226,61	0,00035	647,46
22	100	160	260	102,48	165,41	267,89	0,00049	546,71
23	100	200	300	98,88	201,65	300,53	0,00053	567,04
24	100	240	340	101,05	241,85	342,90	0,00051	672,35
25	150	120	270	148,85	122,95	271,80	0,00054	503,33
26	150	160	310	150,22	162,65	312,87	0,00037	845,59
27	150	200	350	150,85	201,69	352,54	0,00048	734,46
28	150	240	390	149,95	241,55	391,50	0,00050	783,00
29	150	300	450	149,88	301,58	451,46	0,00050	902,92



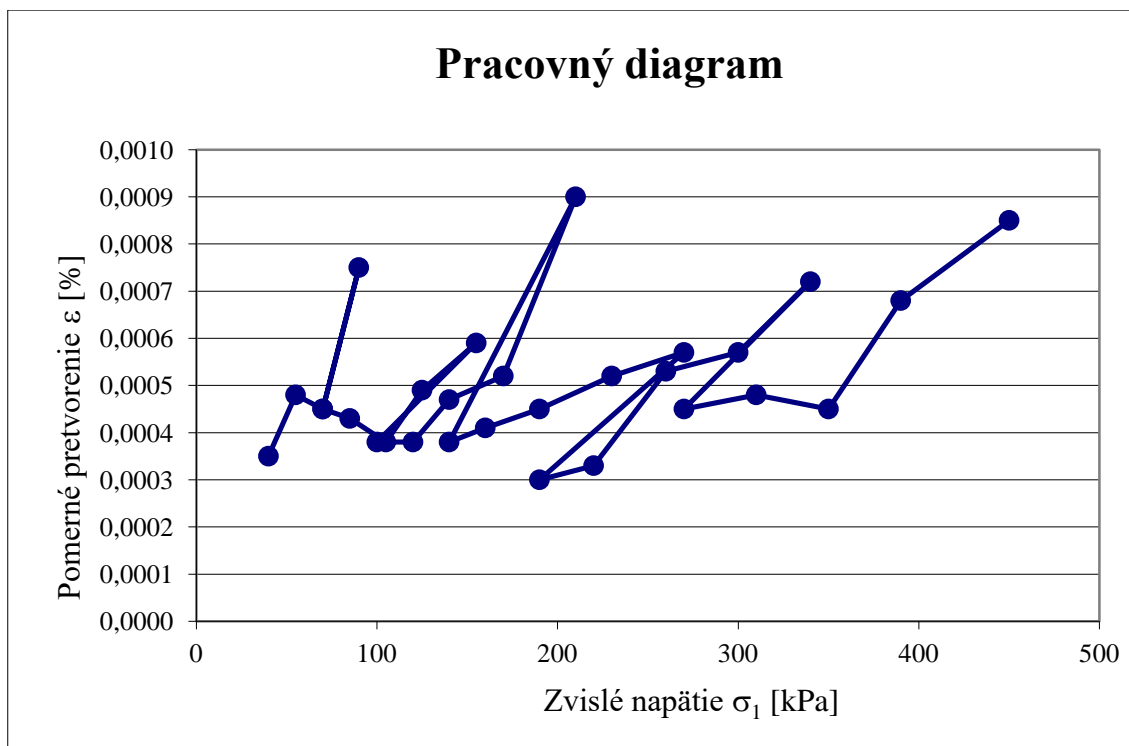
Graf 25 : Pracovný diagram vzorku ŠDB 0/32_1



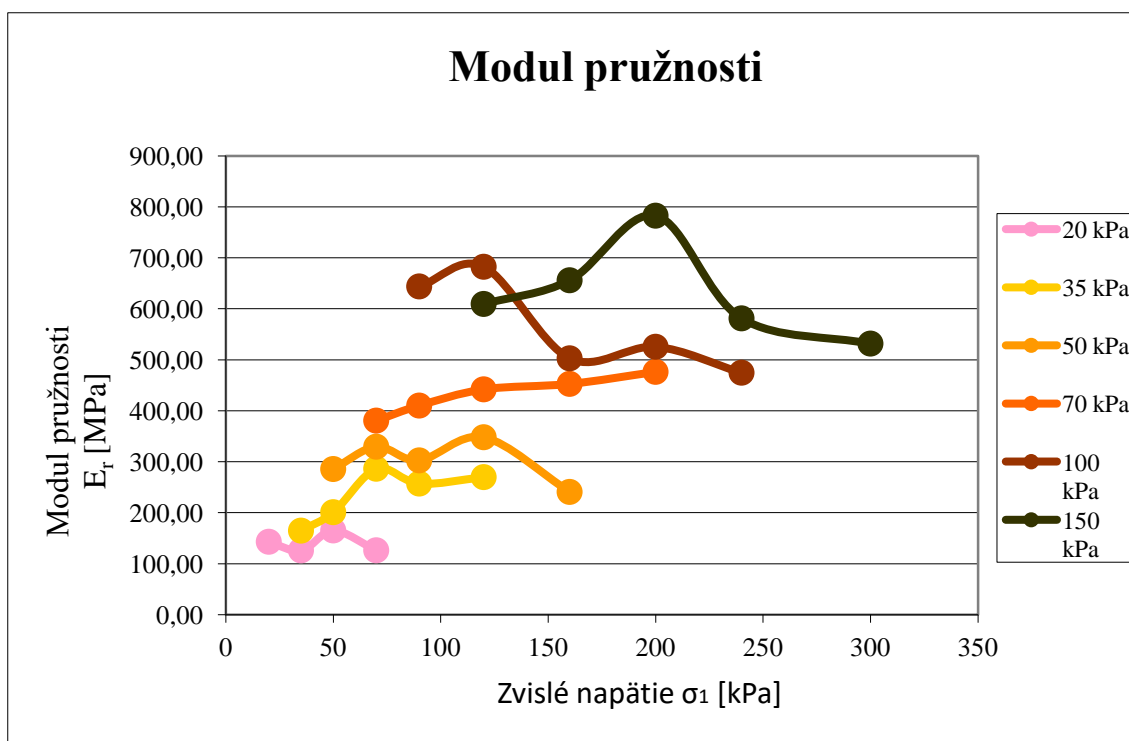
Graf 26 : Moduly pružnosti vzorku ŠDB 0/32_1

Tabuľka 30 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku ŠDB 0/32 2

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerne pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_r
1	20	20	40	25,65	24,35	50,00	0,00035	142,86
2	20	35	55	20,88	39,58	60,46	0,00048	125,96
3	20	50	70	20,68	53,58	74,26	0,00045	165,02
4	20	70	90	19,99	74,58	94,57	0,00075	126,09
5	35	35	70	33,58	40,52	74,10	0,00045	164,67
6	35	50	85	32,84	53,52	86,36	0,00043	200,84
7	35	70	105	32,47	76,25	108,72	0,00038	286,11
8	35	90	125	32,40	93,52	125,92	0,00049	256,98
9	35	120	155	33,85	125,25	159,10	0,00059	269,66
10	50	50	100	49,85	58,65	108,50	0,00038	285,53
11	50	70	120	48,58	76,58	125,16	0,00038	329,37
12	50	90	140	50,58	91,58	142,16	0,00047	302,47
13	50	120	170	51,28	129,62	180,90	0,00052	347,88
14	50	160	210	50,99	165,58	216,57	0,00090	240,63
15	70	70	140	70,08	74,52	144,60	0,00038	380,53
16	70	90	160	71,85	96,25	168,10	0,00041	410,00
17	70	120	190	70,99	127,85	198,84	0,00045	441,87
18	70	160	230	70,08	165,25	235,33	0,00052	452,56
19	70	200	270	69,85	201,58	271,43	0,00057	476,19
20	100	90	190	97,88	95,25	193,13	0,00030	643,77
21	100	120	220	100,32	124,85	225,17	0,00033	682,33
22	100	160	260	101,85	164,58	266,43	0,00053	502,70
23	100	200	300	98,88	200,58	299,46	0,00057	525,37
24	100	240	340	101,05	240,58	341,63	0,00072	474,49
25	150	120	270	150,58	123,65	274,23	0,00045	609,40
26	150	160	310	149,52	165,28	314,80	0,00048	655,83
27	150	200	350	151,58	200,58	352,16	0,00045	782,58
28	150	240	390	152,58	242,58	395,16	0,00068	581,12
29	150	300	450	151,29	300,58	451,87	0,00085	531,61



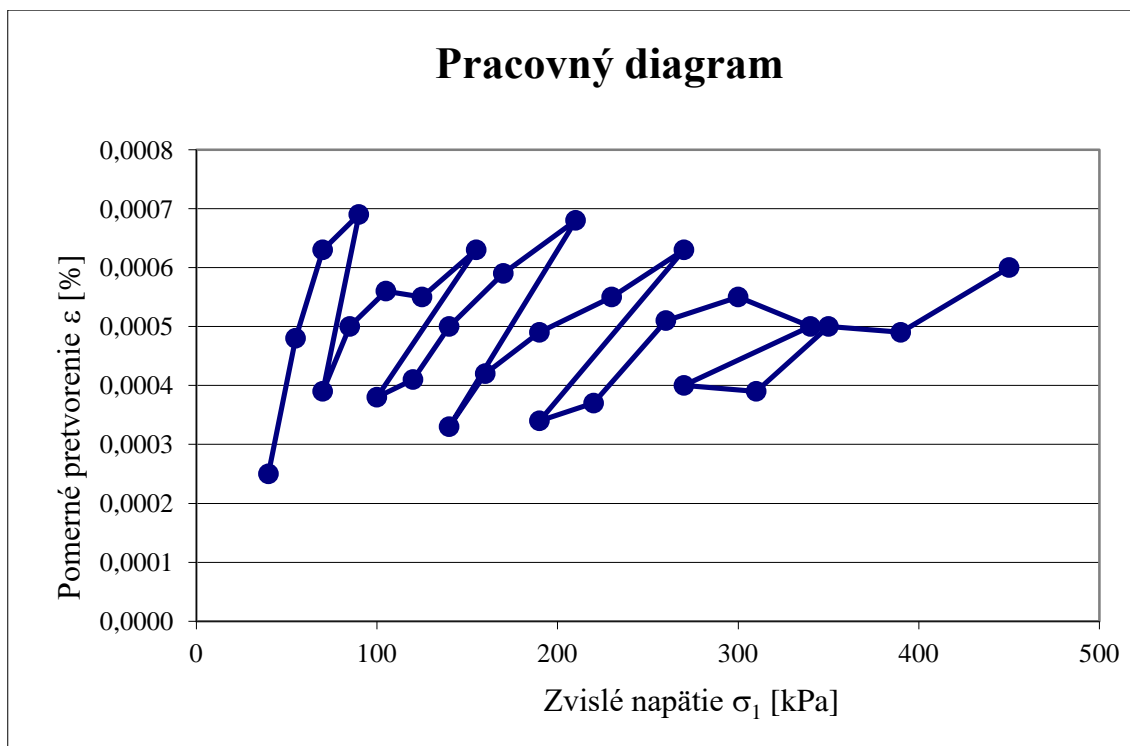
Graf 27: Pracovný diagram vzorku ŠDB 0/32_2



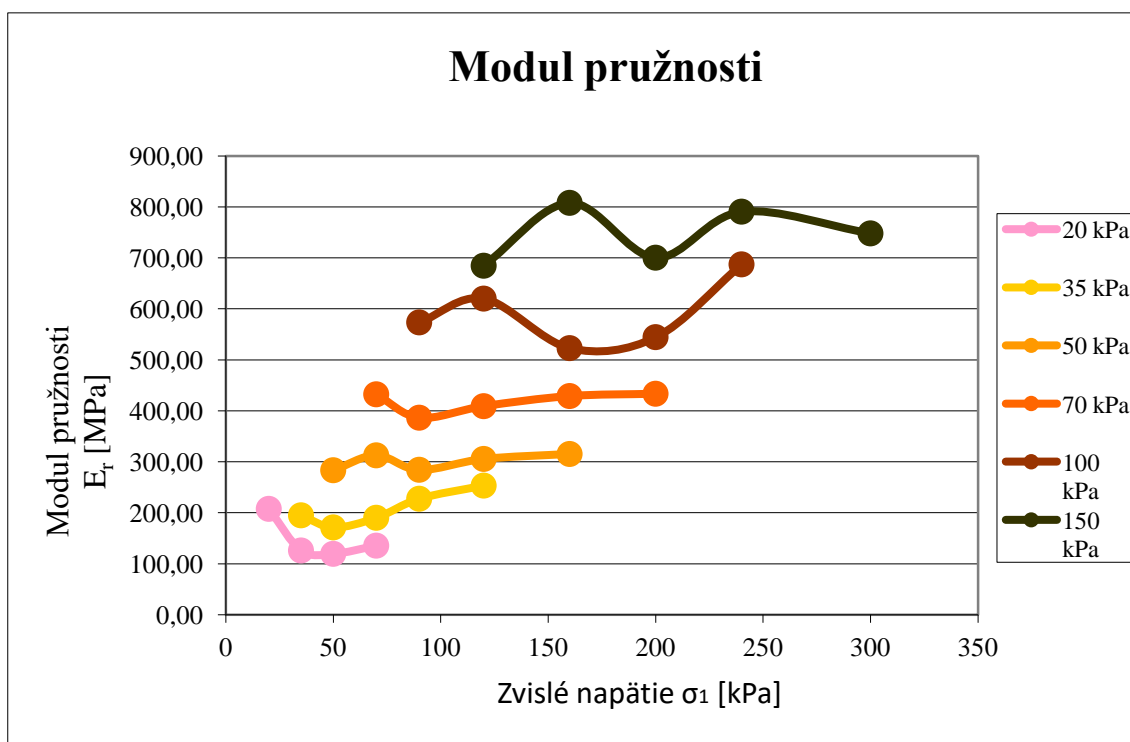
Graf 28 : Moduly pružnosti vzorku ŠDB 0/32_2

Tabuľka 31 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku ŠDB 0/32_3

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_r
1	20	20	40	25,38	26,52	51,90	0,00025	207,60
2	20	35	55	20,88	39,58	60,46	0,00048	125,96
3	20	50	70	21,95	53,25	75,20	0,00063	119,37
4	20	70	90	20,58	72,85	93,43	0,00069	135,41
5	35	35	70	33,45	42,58	76,03	0,00039	194,95
6	35	50	85	32,99	52,63	85,62	0,00050	171,24
7	35	70	105	31,88	74,58	106,46	0,00056	190,11
8	35	90	125	31,85	93,25	125,10	0,00055	227,45
9	35	120	155	33,85	125,68	159,53	0,00063	253,22
10	50	50	100	49,00	58,68	107,68	0,00038	283,37
11	50	70	120	51,58	76,58	128,16	0,00041	312,59
12	50	90	140	50,25	91,88	142,13	0,00050	284,26
13	50	120	170	49,99	130,25	180,24	0,00059	305,49
14	50	160	210	51,11	163,25	214,36	0,00068	315,24
15	70	70	140	70,08	72,58	142,66	0,00033	432,30
16	70	90	160	66,25	96,05	162,30	0,00042	386,43
17	70	120	190	70,85	129,58	200,43	0,00049	409,04
18	70	160	230	70,05	165,85	235,90	0,00055	428,91
19	70	200	270	71,55	201,52	273,07	0,00063	433,44
20	100	90	190	97,88	97,08	194,96	0,00034	573,41
21	100	120	220	102,85	126,58	229,43	0,00037	620,08
22	100	160	260	101,85	164,85	266,70	0,00051	522,94
23	100	200	300	98,88	200,58	299,46	0,00055	544,47
24	100	240	340	101,05	242,58	343,63	0,00050	687,26
25	150	120	270	150,25	123,58	273,83	0,00040	684,58
26	150	160	310	149,85	165,25	315,10	0,00039	807,95
27	150	200	350	149,58	200,58	350,16	0,00050	700,32
28	150	240	390	148,85	238,58	387,43	0,00049	790,67
29	150	300	450	148,96	299,85	448,81	0,00060	748,02



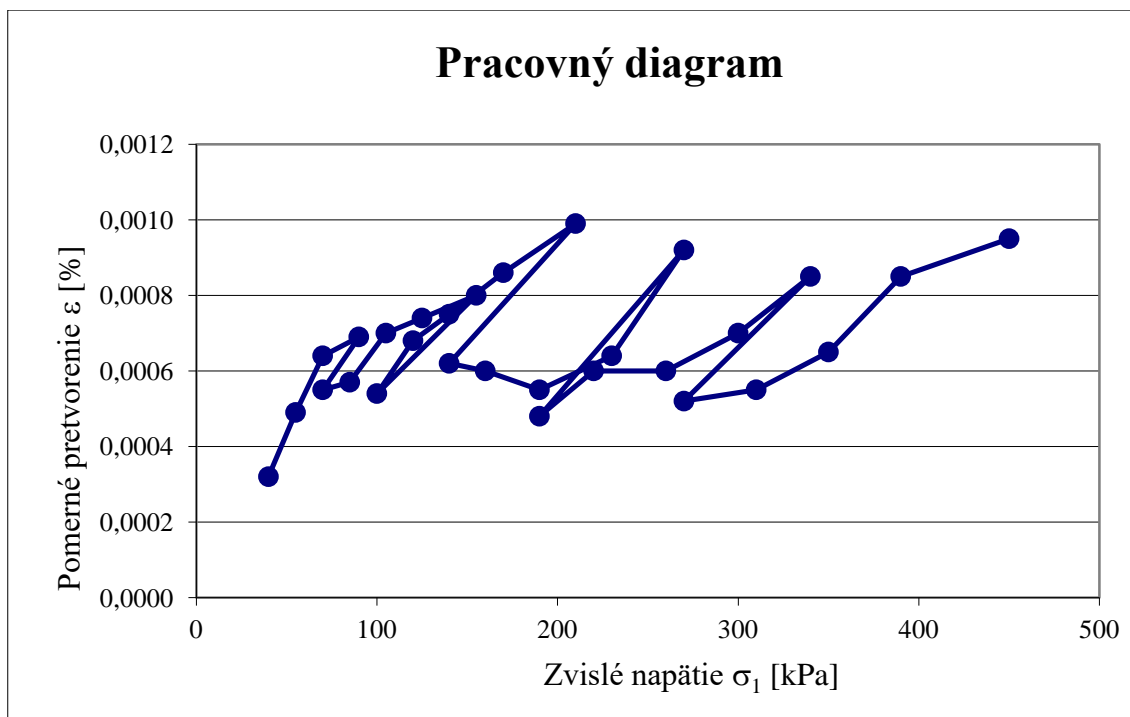
Graf 29 : Pracovný diagram vzorku ŠDB 0/32_3



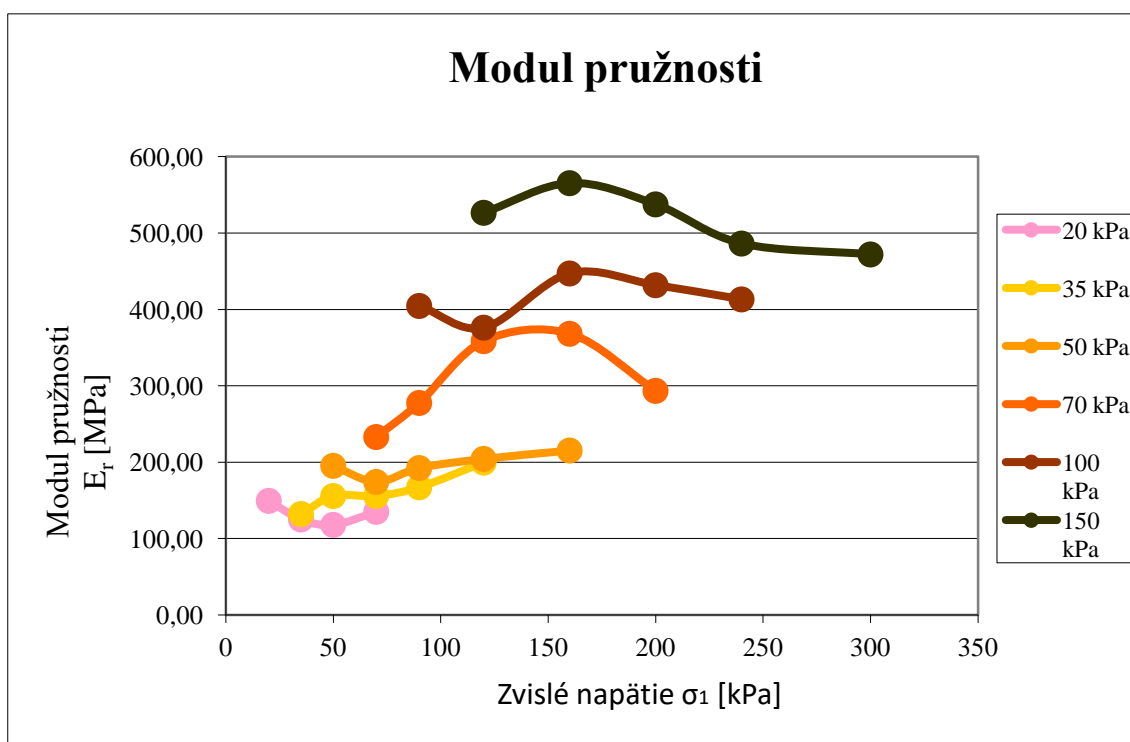
Graf 30 : Moduly pružnosti vzorku ŠDB 0/32_3

Tabuľka 32 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZ-HT 0/22_1

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerne pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_r
1	20	20	40	23,96	23,88	47,84	0,00032	149,50
2	20	35	55	20,14	41,20	61,34	0,00049	125,18
3	20	50	70	20,02	55,54	75,56	0,00064	118,06
4	20	70	90	19,95	73,28	93,23	0,00069	135,12
5	35	35	70	33,85	38,88	72,73	0,00055	132,24
6	35	50	85	34,95	53,88	88,83	0,00057	155,84
7	35	70	105	33,86	75,28	109,14	0,00070	155,91
8	35	90	125	34,90	88,84	123,74	0,00074	167,22
9	35	120	155	35,14	124,55	159,69	0,00080	199,61
10	50	50	100	49,64	55,84	105,48	0,00054	195,33
11	50	70	120	48,80	69,68	118,48	0,00068	174,24
12	50	90	140	50,14	94,22	144,36	0,00075	192,48
13	50	120	170	50,02	125,77	175,79	0,00086	204,41
14	50	160	210	48,98	164,22	213,20	0,00099	215,35
15	70	70	140	69,52	74,99	144,51	0,00062	233,08
16	70	90	160	70,33	96,28	166,61	0,00060	277,68
17	70	120	190	68,88	128,35	197,23	0,00055	358,60
18	70	160	230	70,28	165,38	235,66	0,00064	368,22
19	70	200	270	69,88	200,12	270,00	0,00092	293,48
20	100	90	190	98,35	95,88	194,23	0,00048	404,65
21	100	120	220	100,03	125,69	225,72	0,00060	376,20
22	100	160	260	100,05	168,25	268,30	0,00060	447,17
23	100	200	300	99,99	202,28	302,27	0,00070	431,81
24	100	240	340	98,87	252,36	351,23	0,00085	413,21
25	150	120	270	147,85	125,99	273,84	0,00052	526,62
26	150	160	310	148,11	162,85	310,96	0,00055	565,38
27	150	200	350	149,08	200,38	349,46	0,00065	537,63
28	150	240	390	155,28	258,12	413,40	0,00085	486,35
29	150	300	450	148,25	300,20	448,45	0,00095	472,05



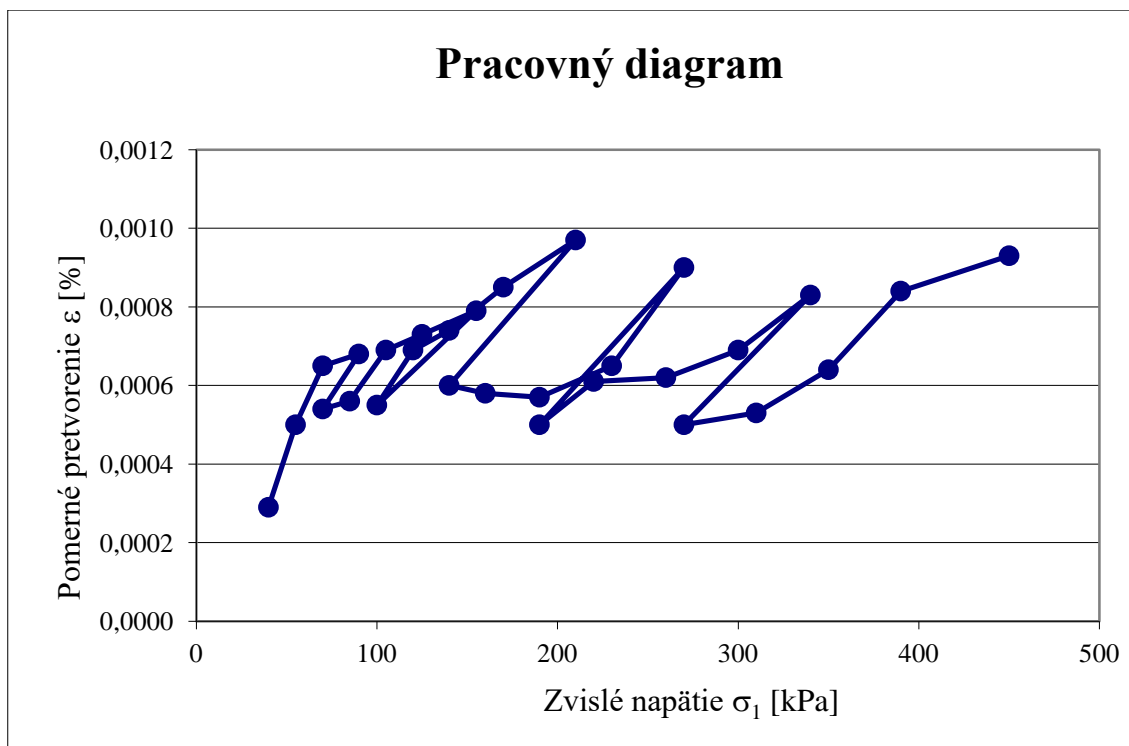
Graf 31 : Pracovný diagram vzorku MZ-HT 0/22_1



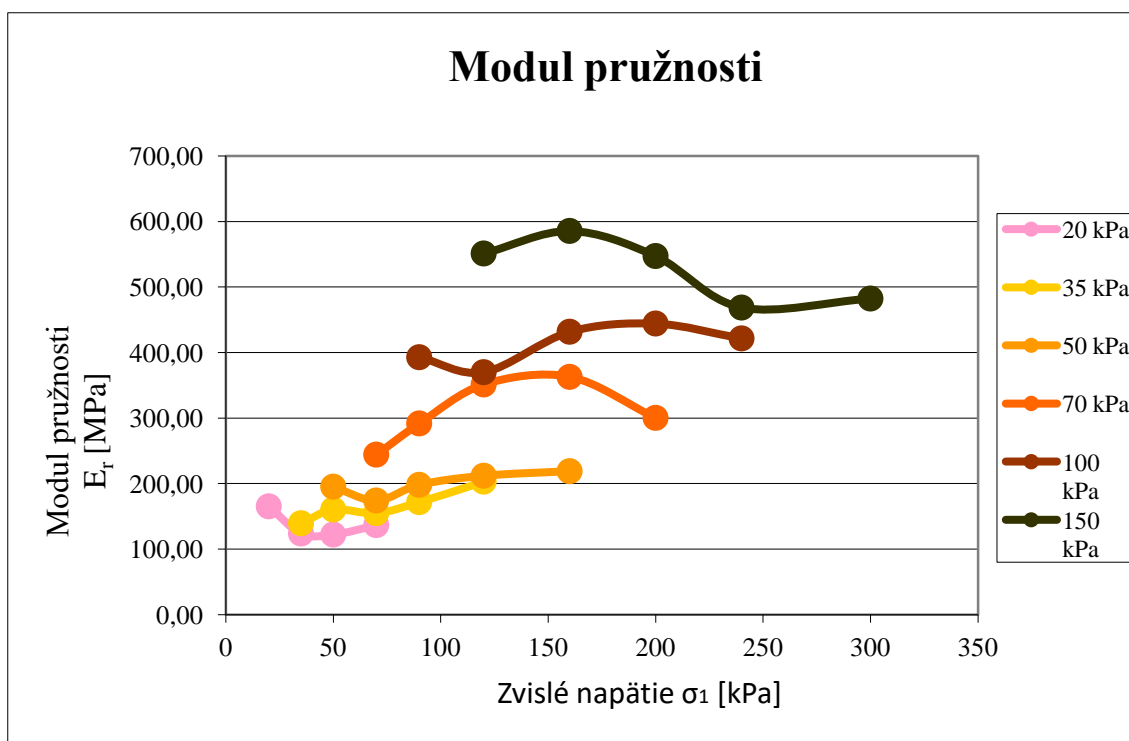
Graf 32 : Moduly pružnosti vzorku MZ - HT 0/22_1

Tabuľka 33 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZ-HT 0/22_2

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_t
1	20	20	40	24,02	23,88	47,90	0,00029	165,17
2	20	35	55	21,58	40,25	61,83	0,00050	123,66
3	20	50	70	21,85	57,52	79,37	0,00065	122,11
4	20	70	90	20,58	72,25	92,83	0,00068	136,51
5	35	35	70	35,68	39,58	75,26	0,00054	139,37
6	35	50	85	35,54	54,25	89,79	0,00056	160,34
7	35	70	105	32,58	74,25	106,83	0,00069	154,83
8	35	90	125	35,24	89,98	125,22	0,00073	171,53
9	35	120	155	34,99	125,25	160,24	0,00079	202,84
10	50	50	100	50,10	57,25	107,35	0,00055	195,18
11	50	70	120	49,85	70,25	120,10	0,00069	174,06
12	50	90	140	51,25	95,26	146,51	0,00074	197,98
13	50	120	170	50,55	129,52	180,07	0,00085	211,85
14	50	160	210	49,99	162,25	212,24	0,00097	218,80
15	70	70	140	70,58	75,85	146,43	0,00060	244,05
16	70	90	160	71,58	97,58	169,16	0,00058	291,66
17	70	120	190	69,89	130,25	200,14	0,00057	351,12
18	70	160	230	71,25	164,52	235,77	0,00065	362,72
19	70	200	270	70,58	199,58	270,16	0,00090	300,18
20	100	90	190	99,47	96,88	196,35	0,00050	392,70
21	100	120	220	101,05	124,58	225,63	0,00061	369,89
22	100	160	260	99,99	167,58	267,57	0,00062	431,56
23	100	200	300	105,85	200,58	306,43	0,00069	444,10
24	100	240	340	98,77	251,00	349,77	0,00083	421,41
25	150	120	270	150,52	124,96	275,48	0,00050	550,96
26	150	160	310	148,68	161,58	310,26	0,00053	585,40
27	150	200	350	150,58	199,58	350,16	0,00064	547,13
28	150	240	390	153,25	240,25	393,50	0,00084	468,45
29	150	300	450	148,25	300,20	448,45	0,00093	482,20



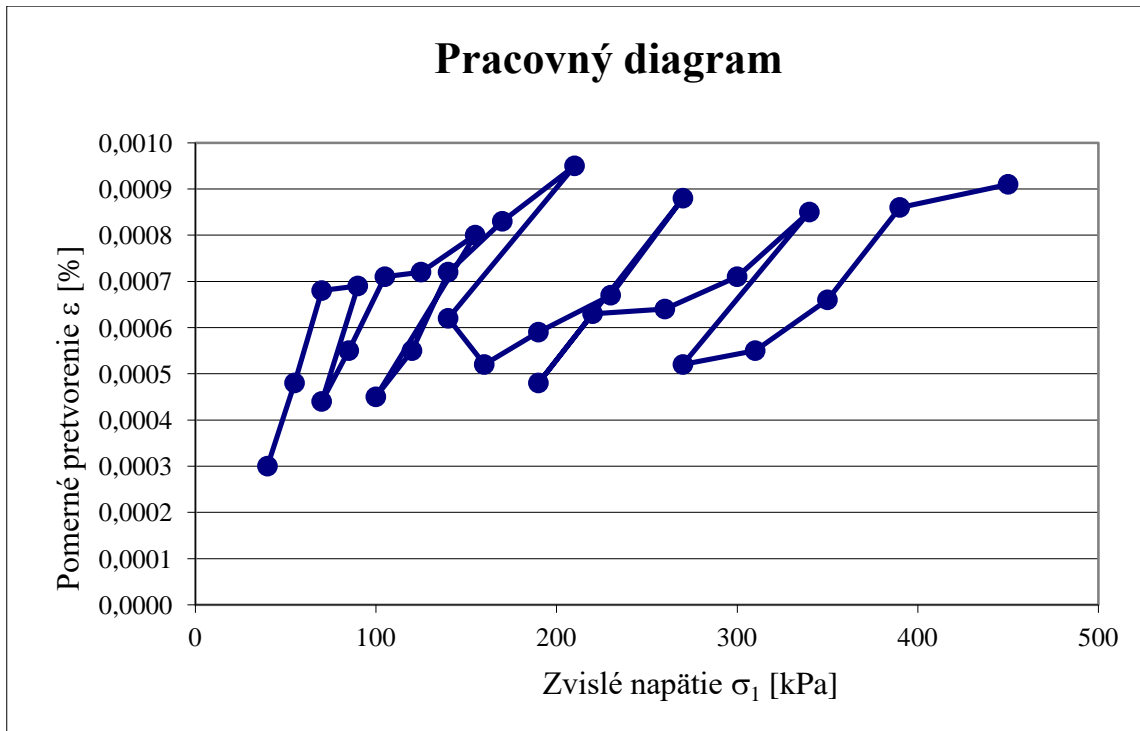
Graf 33 : Pracovný diagram vzorku MZ-HT 0/22_2



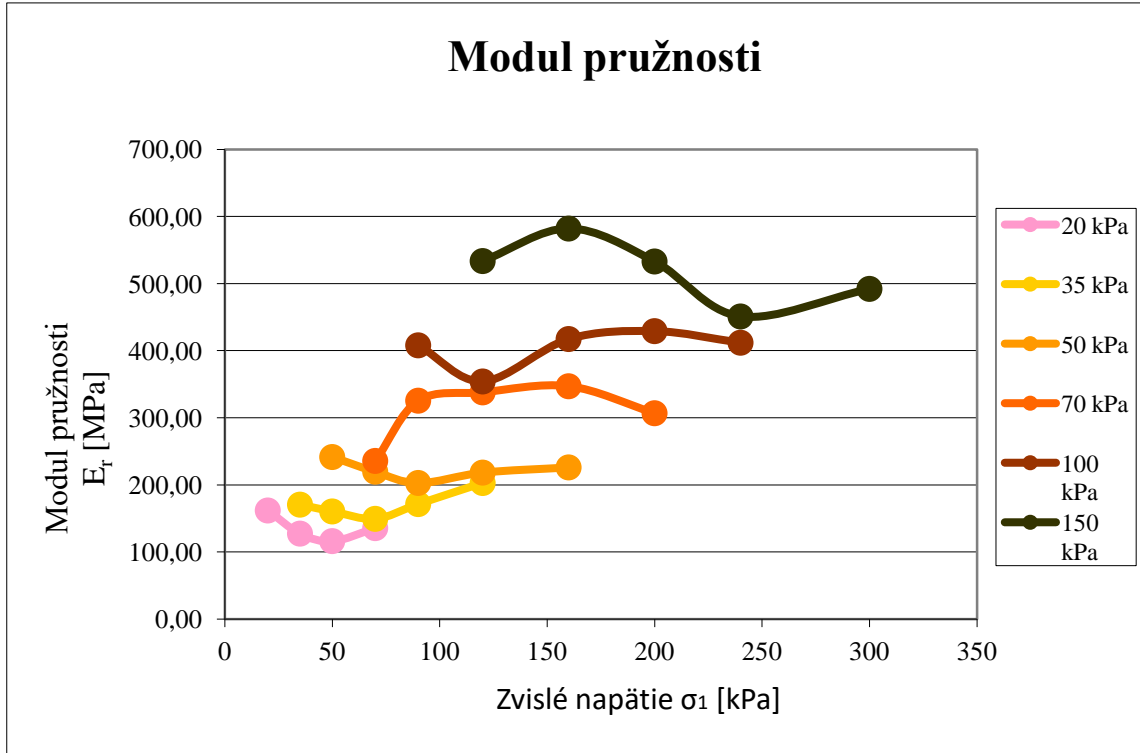
Graf 34 : Moduly pružnosti vzorku MZ-HT 0/22_2

Tabuľka 34 :Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZ-HT 0/22_3

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_r
1	20	20	40	23,99	24,58	48,57	0,00030	161,90
2	20	35	55	21,58	39,58	61,16	0,00048	127,42
3	20	50	70	20,59	58,45	79,04	0,00068	116,24
4	20	70	90	20,02	73,55	93,57	0,00069	135,61
5	35	35	70	34,54	40,52	75,06	0,00044	170,59
6	35	50	85	34,99	53,25	88,24	0,00055	160,44
7	35	70	105	33,85	72,25	106,10	0,00071	149,44
8	35	90	125	34,85	88,58	123,43	0,00072	171,43
9	35	120	155	35,02	127,25	162,27	0,00080	202,84
10	50	50	100	49,85	58,85	108,70	0,00045	241,56
11	50	70	120	51,27	69,58	120,85	0,00055	219,73
12	50	90	140	51,85	94,25	146,10	0,00072	202,92
13	50	120	170	50,98	130,25	181,23	0,00083	218,35
14	50	160	210	51,52	163,25	214,77	0,00095	226,07
15	70	70	140	71,58	74,58	146,16	0,00062	235,74
16	70	90	160	70,58	98,68	169,26	0,00052	325,50
17	70	120	190	70,85	128,52	199,37	0,00059	337,92
18	70	160	230	70,24	162,25	232,49	0,00067	347,00
19	70	200	270	69,85	200,14	269,99	0,00088	306,81
20	100	90	190	98,25	97,58	195,83	0,00048	407,98
21	100	120	220	100,25	122,85	223,10	0,00063	354,13
22	100	160	260	98,87	168,25	267,12	0,00064	417,38
23	100	200	300	104,85	199,85	304,70	0,00071	429,15
24	100	240	340	99,85	250,25	350,10	0,00085	411,88
25	150	120	270	151,49	125,96	277,45	0,00052	533,56
26	150	160	310	149,85	170,25	320,10	0,00055	582,00
27	150	200	350	151,48	200,25	351,73	0,00066	532,92
28	150	240	390	152,27	235,58	387,85	0,00086	450,99
29	150	300	450	149,25	298,58	447,83	0,00091	492,12



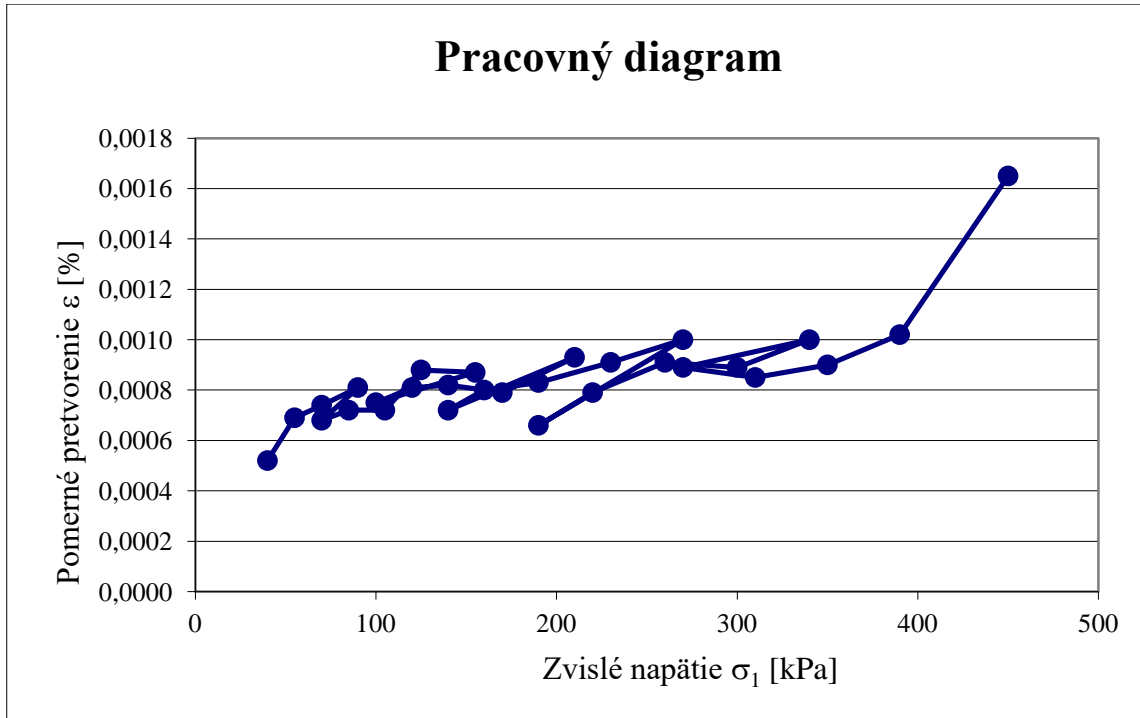
Graf 35 : Pracovný diagram vzorku MZ-HT 0/22_3



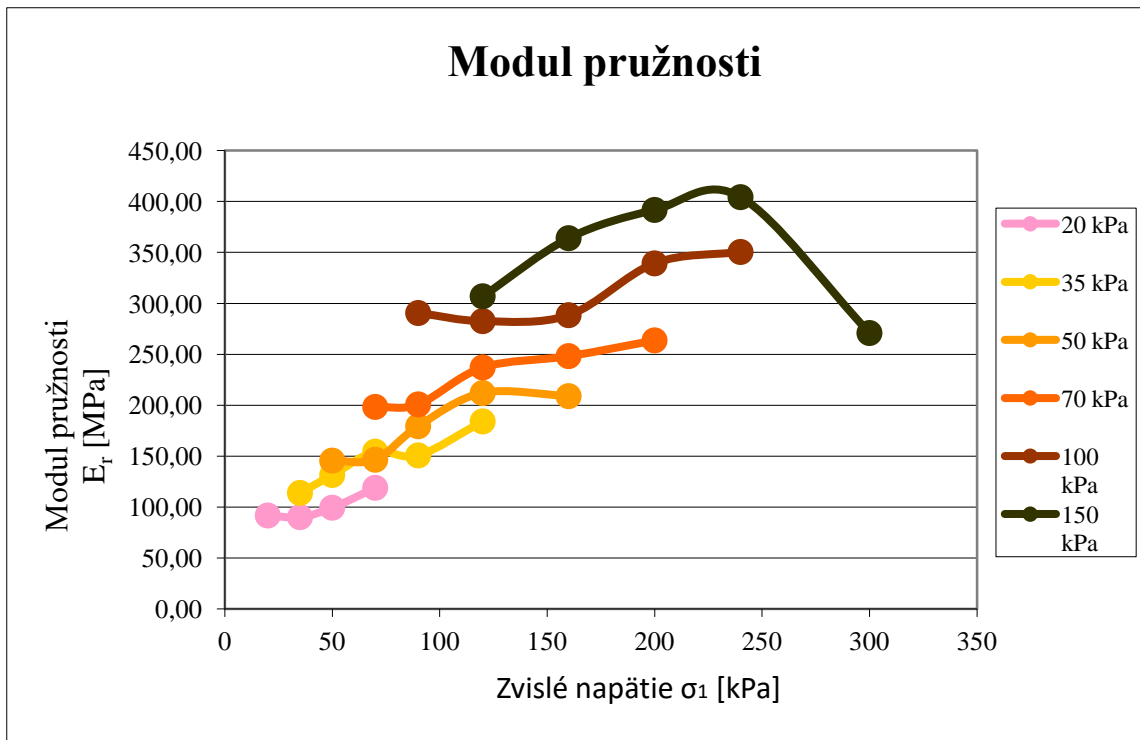
Graf 36 : Moduly pružnosti vzorku MZ-HT 0/22_3

Tabuľka 35 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZ-T 0/22_1

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_t
1	20	20	40	24,44	23,28	47,72	0,00052	91,77
2	20	35	55	20,11	42,11	62,22	0,00069	90,17
3	20	50	70	19,99	53,58	73,57	0,00074	99,42
4	20	70	90	20,05	76,28	96,33	0,00081	118,93
5	35	35	70	35,35	42,12	77,47	0,00068	113,93
6	35	50	85	34,87	59,84	94,71	0,00072	131,54
7	35	70	105	35,31	75,89	111,20	0,00072	154,44
8	35	90	125	35,01	97,65	132,66	0,00088	150,75
9	35	120	155	34,88	125,32	160,20	0,00087	184,14
10	50	50	100	49,68	59,56	109,24	0,00075	145,65
11	50	70	120	49,92	68,75	118,67	0,00081	146,51
12	50	90	140	51,22	95,89	147,11	0,00082	179,40
13	50	120	170	50,20	117,25	167,45	0,00079	211,96
14	50	160	210	49,99	144,35	194,34	0,00093	208,97
15	70	70	140	69,55	73,28	142,83	0,00072	198,38
16	70	90	160	71,21	89,47	160,68	0,00080	200,85
17	70	120	190	69,93	126,88	196,81	0,00083	237,12
18	70	160	230	70,05	155,87	225,92	0,00091	248,26
19	70	200	270	67,92	195,78	263,70	0,00100	263,70
20	100	90	190	98,90	92,88	191,78	0,00066	290,58
21	100	120	220	100,20	123,06	223,26	0,00079	282,61
22	100	160	260	99,25	163,25	262,50	0,00091	288,46
23	100	200	300	99,20	202,80	302,00	0,00089	339,33
24	100	240	340	97,65	252,87	350,52	0,00100	350,52
25	150	120	270	151,21	122,01	273,22	0,00089	306,99
26	150	160	310	149,17	160,28	309,45	0,00085	364,06
27	150	200	350	152,03	200,58	352,61	0,00090	391,79
28	150	240	390	147,89	264,54	412,43	0,00102	404,34
29	150	300	450	146,48	300,54	447,02	0,00165	270,92



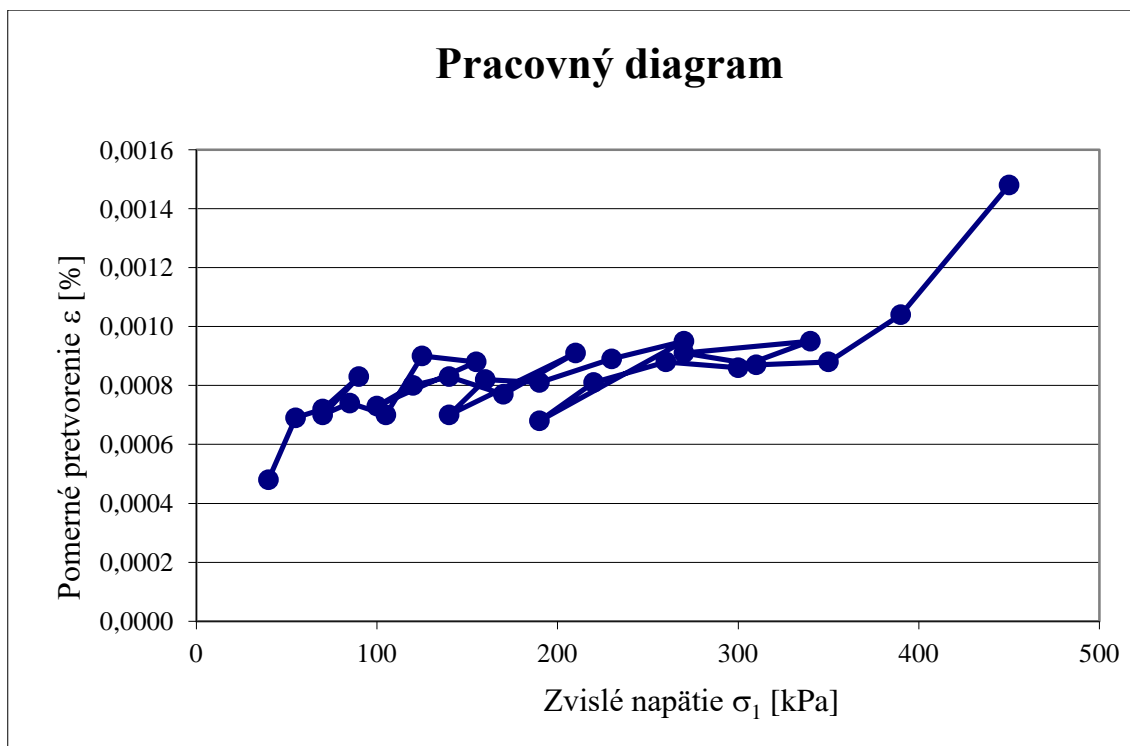
Graf 37 : Pracovný diagram MZ-T 0/22_1



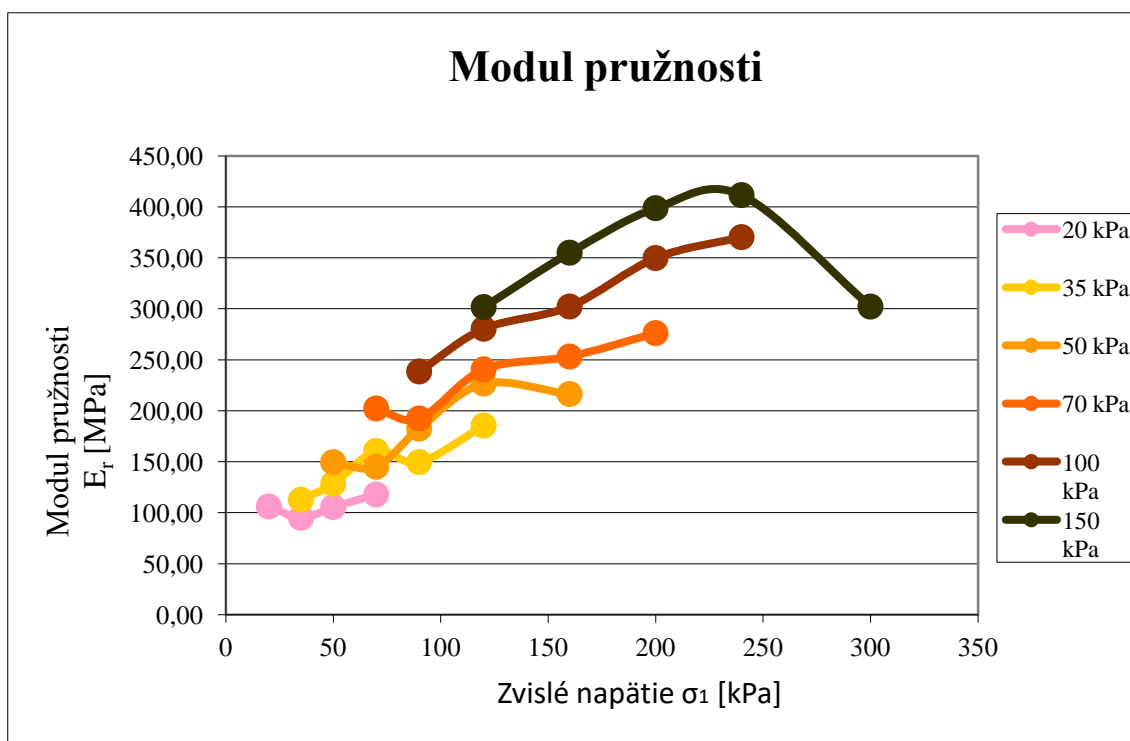
Graf 38 : Moduly pružnosti vzorku MZ-T 0/22_1

Tabuľka 36 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZ-T 0/22_2

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_t
1	20	20	40	25,28	25,62	50,90	0,00048	106,04
2	20	35	55	21,25	44,25	65,50	0,00069	94,93
3	20	50	70	20,25	55,68	75,93	0,00072	105,46
4	20	70	90	19,95	77,82	97,77	0,00083	117,80
5	35	35	70	34,38	44,52	78,90	0,00070	112,71
6	35	50	85	33,68	61,25	94,93	0,00074	128,28
7	35	70	105	34,95	77,39	112,34	0,00070	160,49
8	35	90	125	34,99	99,58	134,57	0,00090	149,52
9	35	120	155	35,94	127,25	163,19	0,00088	185,44
10	50	50	100	47,85	61,25	109,10	0,00073	149,45
11	50	70	120	46,25	69,74	115,99	0,00080	144,99
12	50	90	140	53,58	97,85	151,43	0,00083	182,45
13	50	120	170	52,58	121,88	174,46	0,00077	226,57
14	50	160	210	51,58	145,28	196,86	0,00091	216,33
15	70	70	140	70,25	71,25	141,50	0,00070	202,14
16	70	90	160	69,28	88,47	157,75	0,00082	192,38
17	70	120	190	70,25	124,58	194,83	0,00081	240,53
18	70	160	230	69,58	155,74	225,32	0,00089	253,17
19	70	200	270	68,69	193,58	262,27	0,00095	276,07
20	100	90	190	70,58	91,58	162,16	0,00068	238,47
21	100	120	220	101,85	125,25	227,10	0,00081	280,37
22	100	160	260	100,66	165,25	265,91	0,00088	302,17
23	100	200	300	99,54	201,25	300,79	0,00086	349,76
24	100	240	340	100,14	251,58	351,72	0,00095	370,23
25	150	120	270	153,25	121,25	274,50	0,00091	301,65
26	150	160	310	150,25	158,58	308,83	0,00087	354,98
27	150	200	350	151,25	199,58	350,83	0,00088	398,67
28	150	240	390	149,35	278,58	427,93	0,00104	411,47
29	150	300	450	147,58	299,58	447,16	0,00148	302,14



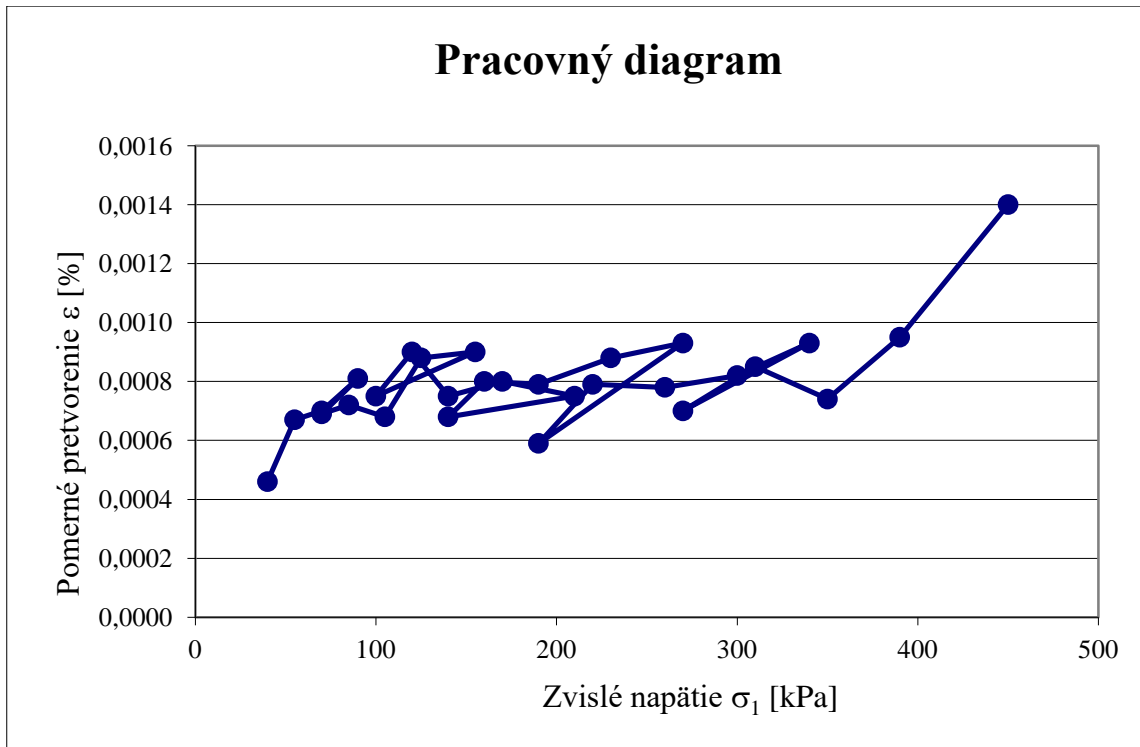
Graf 39 : Pracovný diagram MZ-T 0/22_2



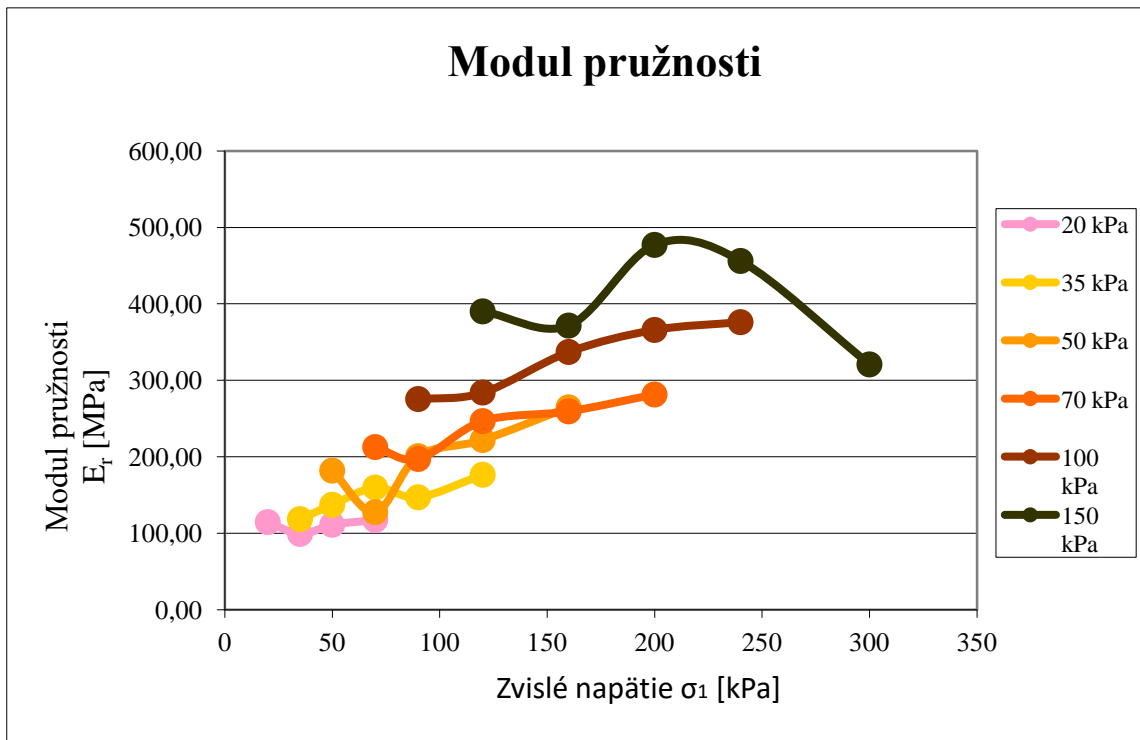
Graf 40 : Moduly pružnosti vzorku MZ-T 0/22_2

Tabuľka 37 : Namerané údaje cyklickej triaxiálnej skúšky vzorku MZ-T 0/22_3

Riadok	Normové hodnoty			Namerané hodnoty				
	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napätia [kPa]	Zvislé napätie [kPa]	Pomerné pretvorenie [mm]	Modul pružnosti [MPa]
	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	σ_3	$\sigma_{d \max}$	$\sigma_{1 \max}$	$\varepsilon = \Delta h/h$	E_t
1	20	20	40	24,84	27,85	52,69	0,00046	114,54
2	20	35	55	22,85	43,52	66,37	0,00067	99,06
3	20	50	70	19,87	57,85	77,72	0,00070	111,03
4	20	70	90	21,52	73,58	95,10	0,00081	117,41
5	35	35	70	35,87	45,85	81,72	0,00069	118,43
6	35	50	85	35,24	63,52	98,76	0,00072	137,17
7	35	70	105	32,77	75,85	108,62	0,00068	159,74
8	35	90	125	31,49	97,85	129,34	0,00088	146,98
9	35	120	155	33,36	125,41	158,77	0,00090	176,41
10	50	50	100	75,85	60,55	136,40	0,00075	181,87
11	50	70	120	44,27	70,52	114,79	0,00090	127,54
12	50	90	140	51,85	98,74	150,59	0,00075	200,79
13	50	120	170	53,86	123,66	177,52	0,00080	221,90
14	50	160	210	50,60	147,85	198,45	0,00075	264,60
15	70	70	140	71,36	73,25	144,61	0,00068	212,66
16	70	90	160	67,85	89,85	157,70	0,00080	197,13
17	70	120	190	71,95	122,85	194,80	0,00079	246,58
18	70	160	230	70,66	157,55	228,21	0,00088	259,33
19	70	200	270	69,85	191,85	261,70	0,00093	281,40
20	100	90	190	71,68	90,85	162,53	0,00059	275,47
21	100	120	220	100,84	123,52	224,36	0,00079	284,00
22	100	160	260	99,66	163,25	262,91	0,00078	337,06
23	100	200	300	100,41	199,58	299,99	0,00082	365,84
24	100	240	340	99,84	249,85	349,69	0,00093	376,01
25	150	120	270	149,85	123,25	273,10	0,00070	390,14
26	150	160	310	151,58	164,25	315,83	0,00085	371,56
27	150	200	350	155,20	197,85	353,05	0,00074	477,09
28	150	240	390	148,71	284,58	433,29	0,00095	456,09
29	150	300	450	146,58	302,52	449,10	0,00140	320,79

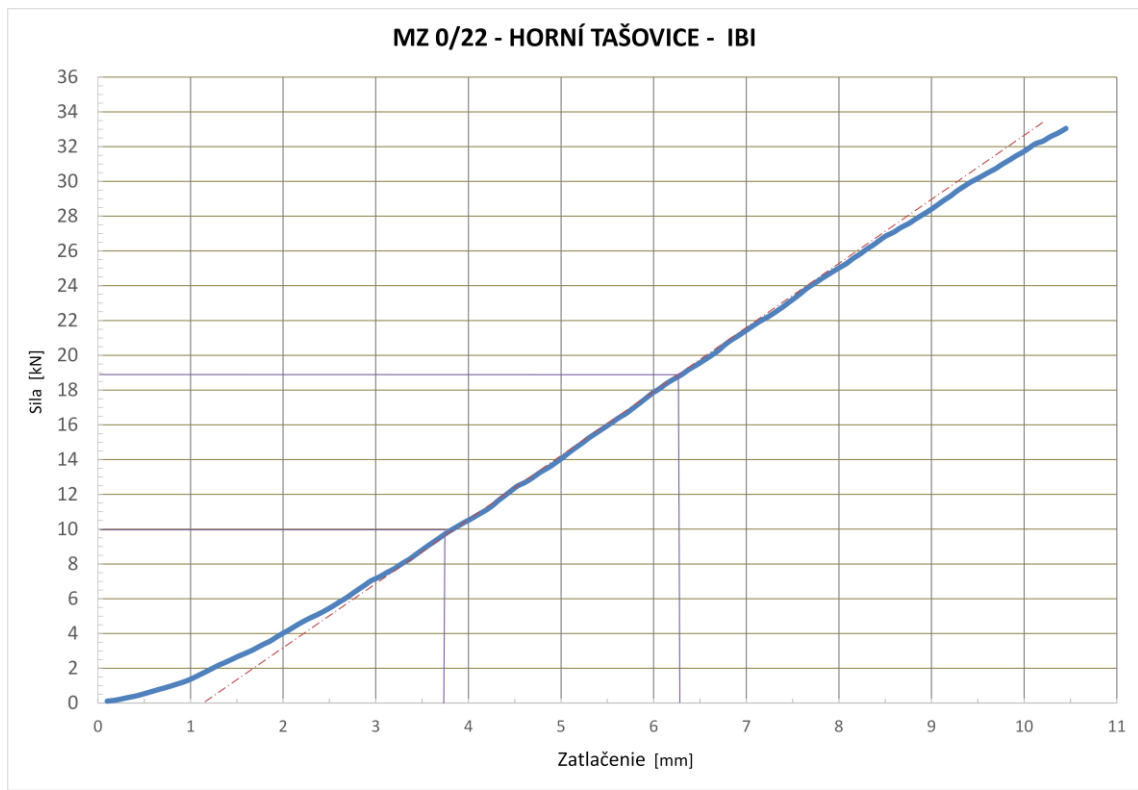


Graf 41 : Pracovný diagram vzorku MZ-T 0/22_3

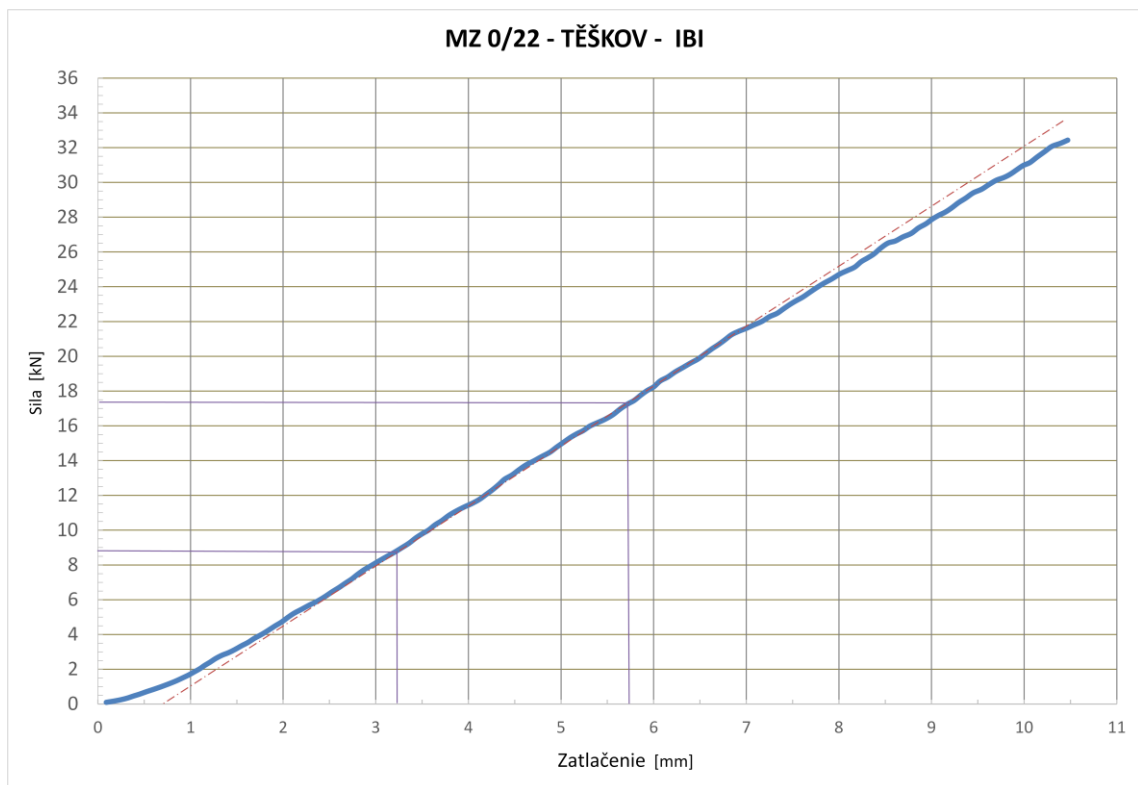


Graf 42 : Moduly pružnosti vzorku MZ-T 0/22_3

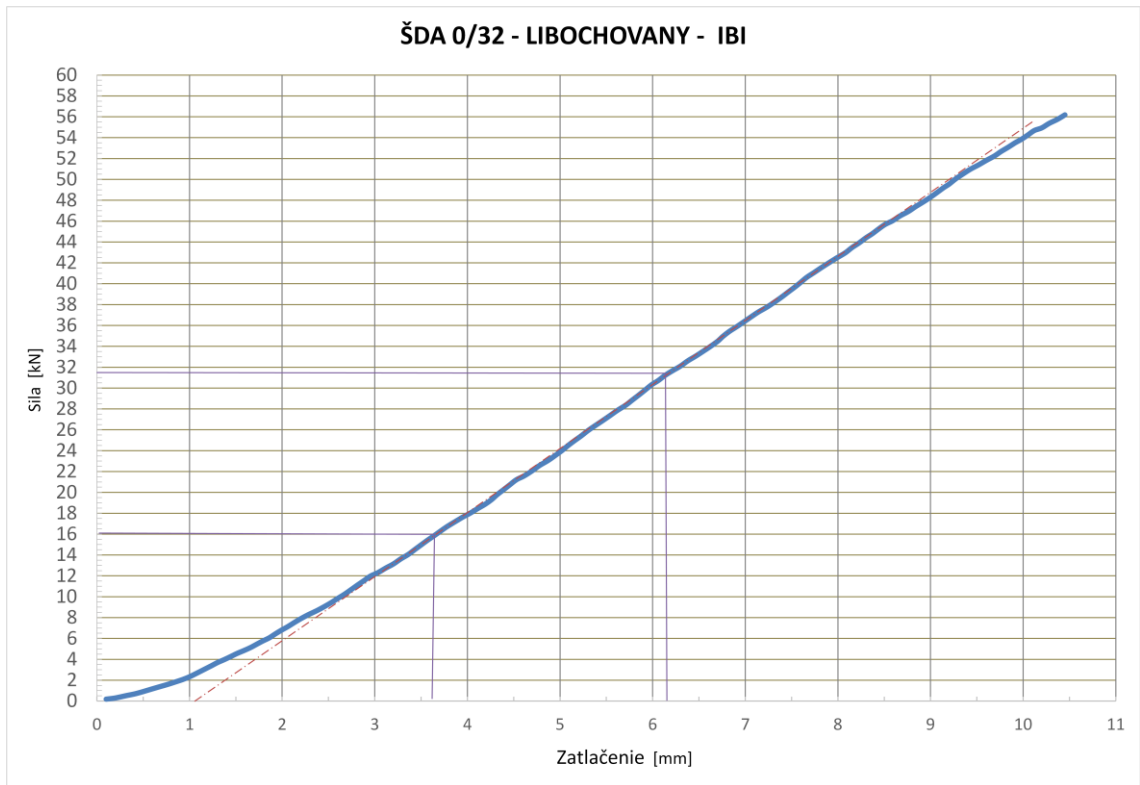
Príloha B–Prehľad výsledkov skúšky IBI



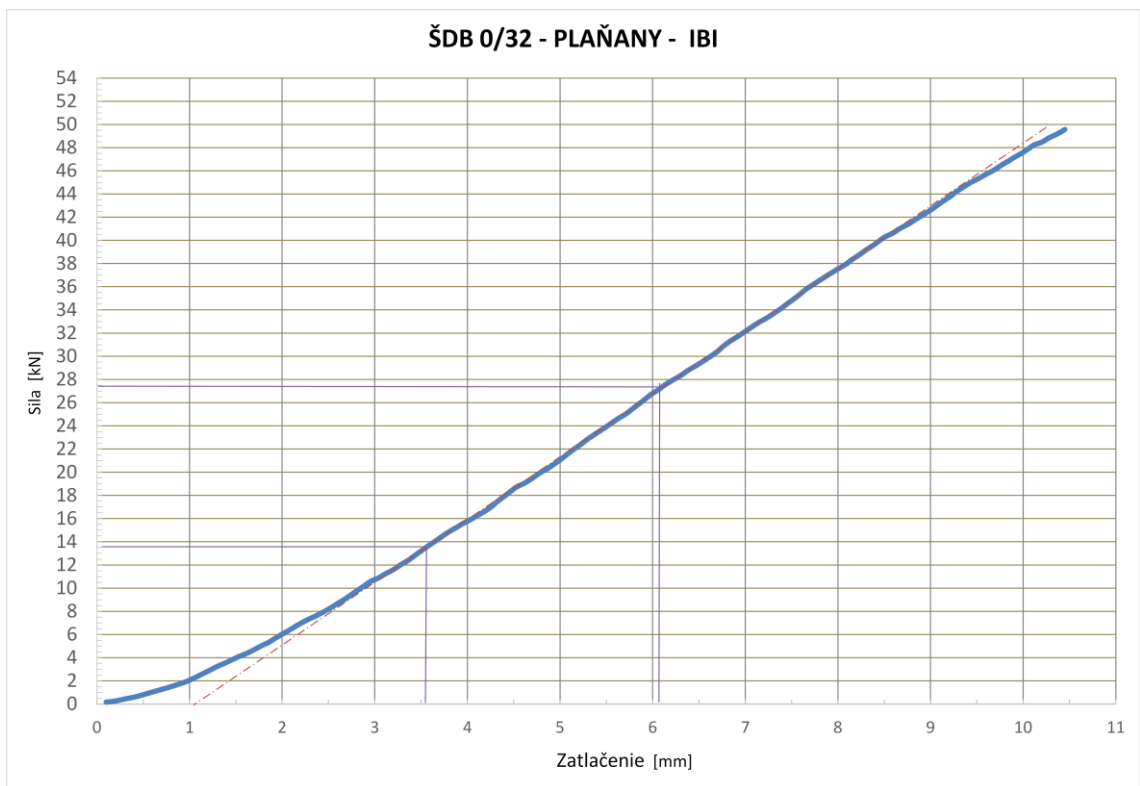
Graf 43: Skúška IBI zmesi Horní Tašovice MZ 0/22



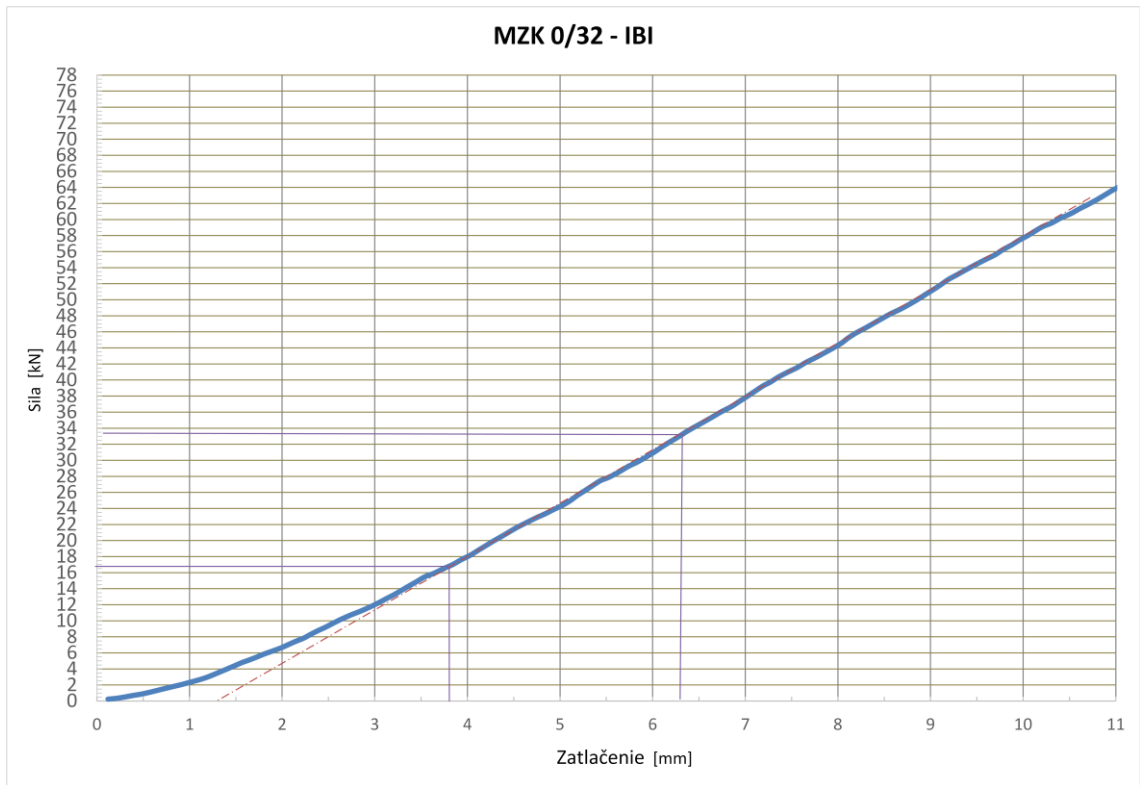
Graf 44 : Skúška IBI zmesi Těškov MZ 0/22



Graf 45 : Skúška IBI zmesi ŠDA 0/32 Libochovany

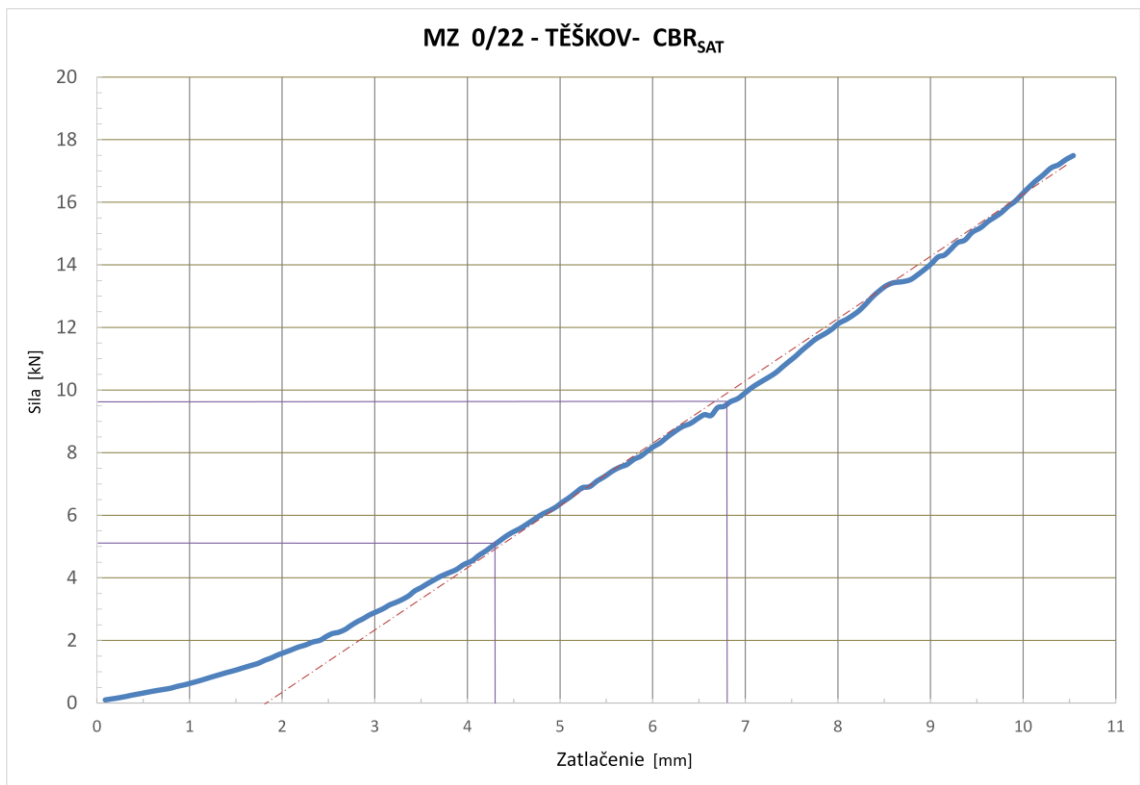


Graf 46 : Skúška IBI zmesi ŠDB 0/32 Plaňany

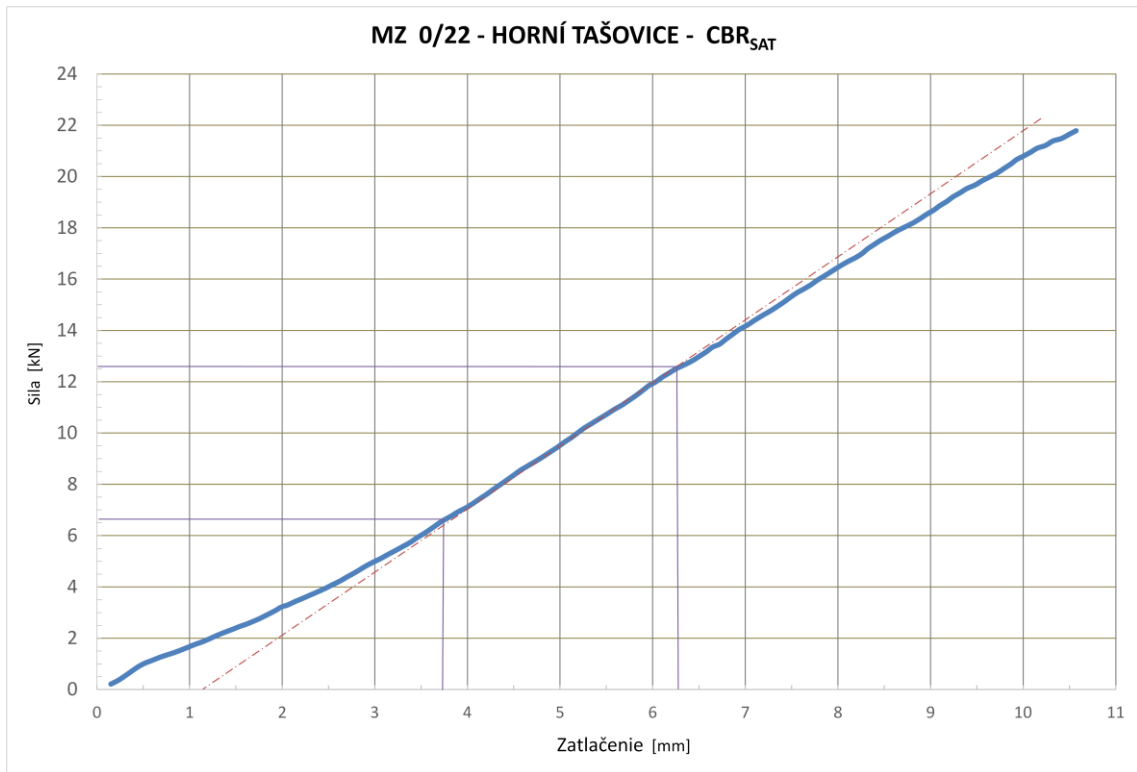


Graf 47 : Skúška IBI zmesi MZK 0/32

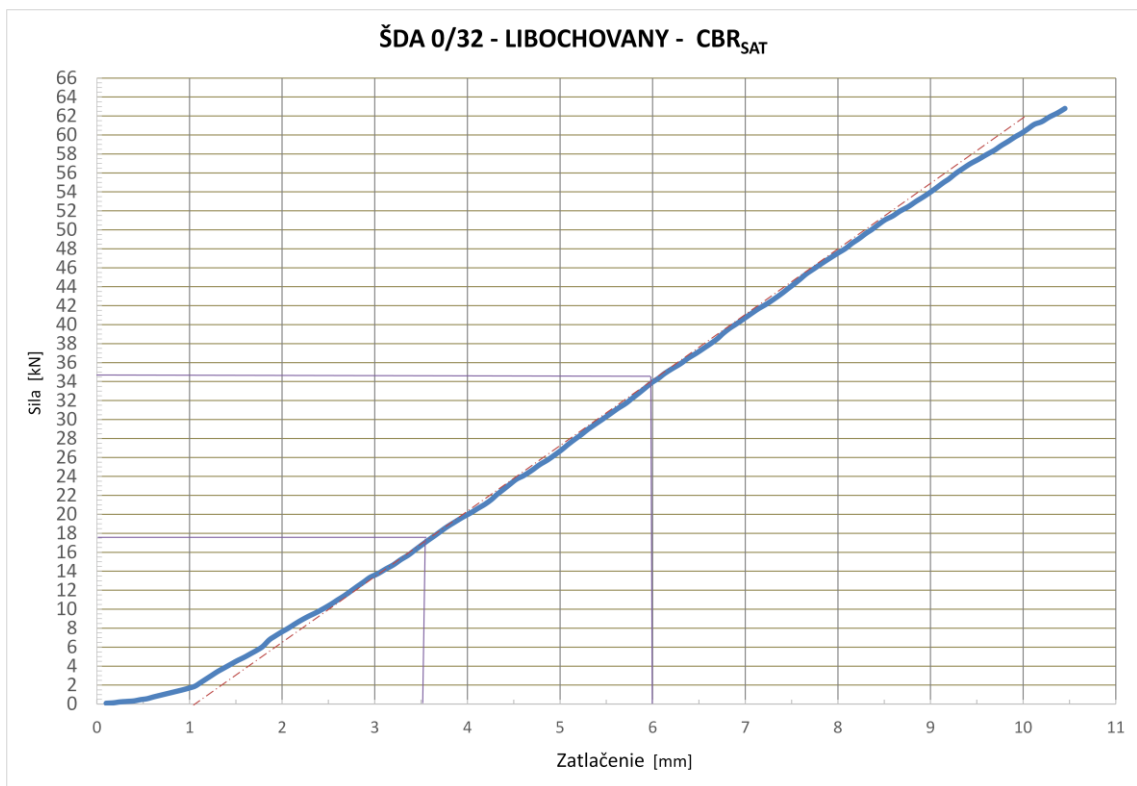
Príloha C–Prehľad výsledkov skúšky CBR



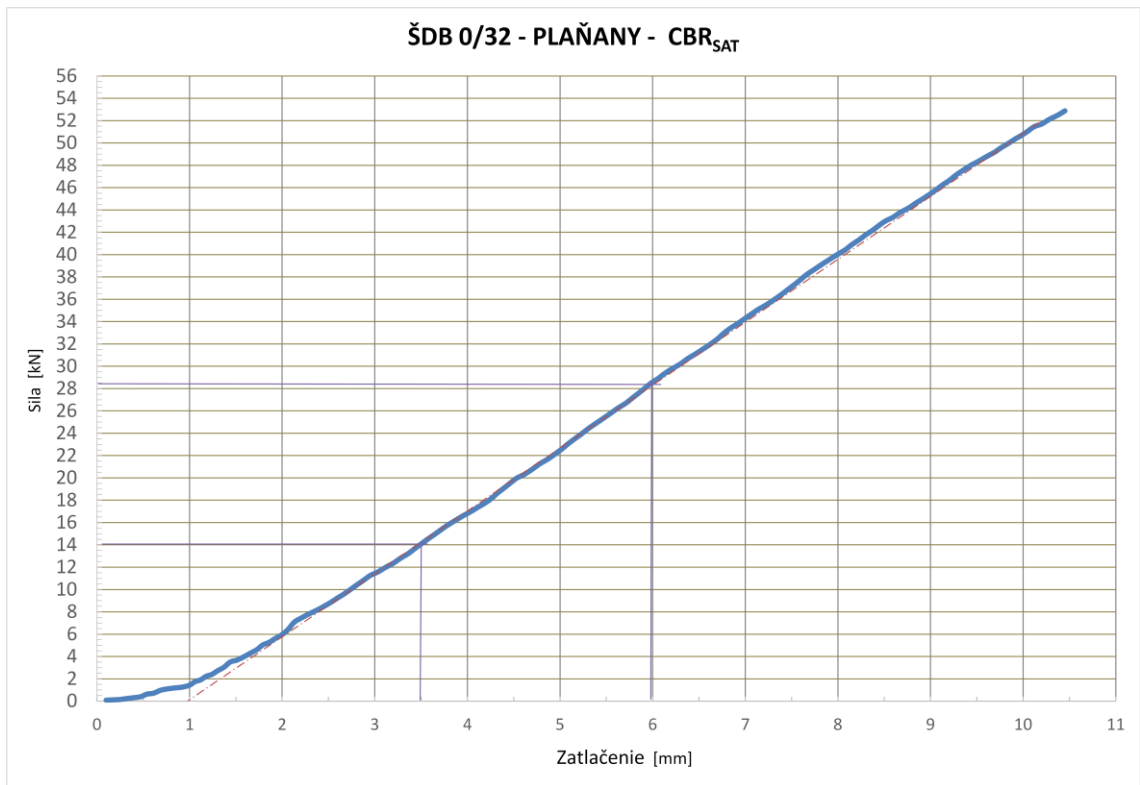
Graf 48 : Skúška CBR zmesi MZ 0/22 Těškov



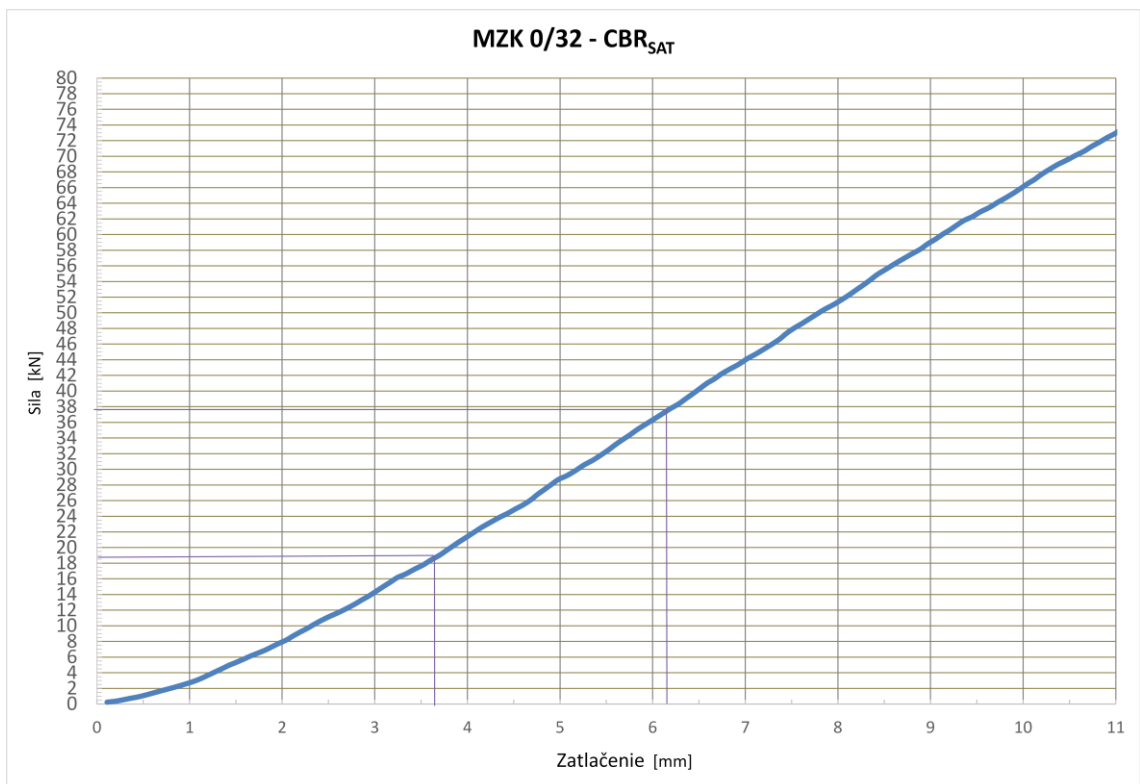
Graf 49: Skúška CBR zmesi MZ 0/22 Horní Tašovice



Graf 50 : Skúška zmesi CBR ŠDA 0/32

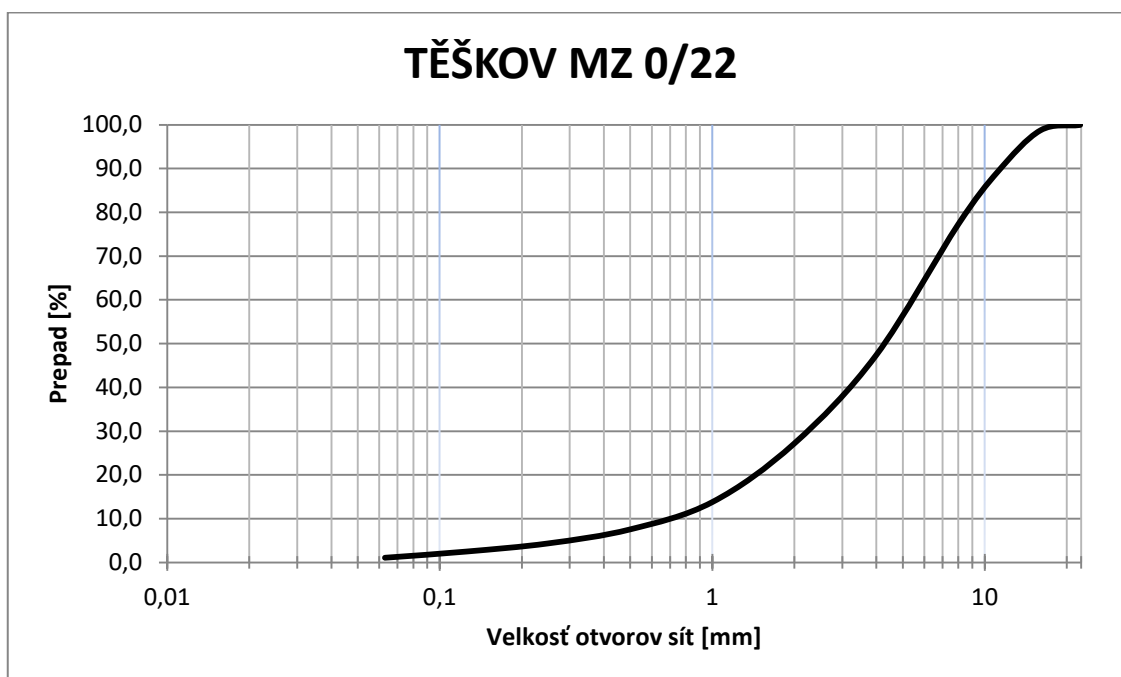


Graf 51: Skúška CBR zmesi ŠDB 0/32 Plaňany



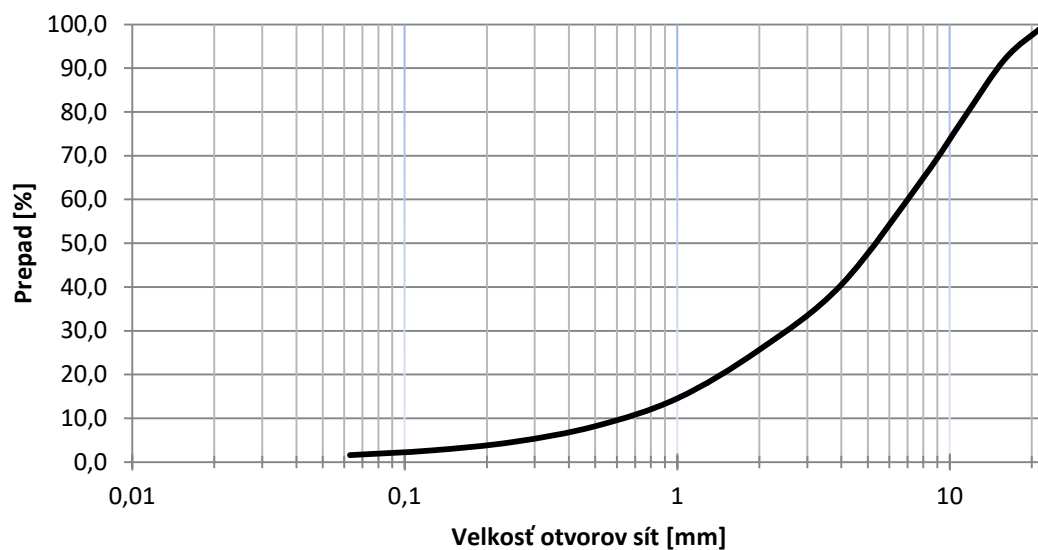
Graf 52 : Skúška CBR zmesi MZK 0/32

Príloha D–Stanovení zrnitosti



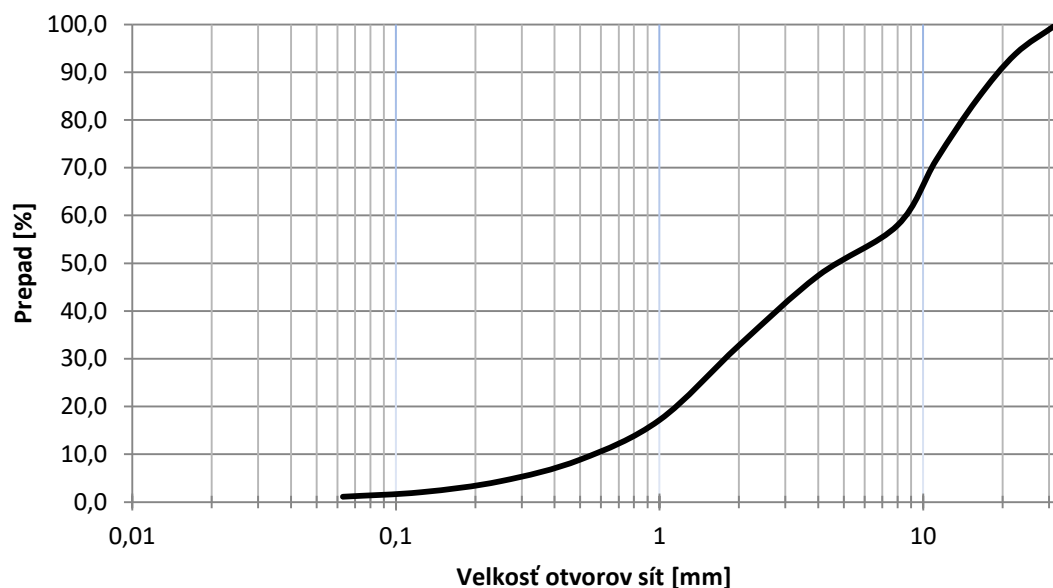
ZRNITOSŤ - SITOVÝ ROZBOR podľa ČSN EN 933-1			
Celková suchá hmotnosť M1 [g]			980
Suchá hmotnosť po skúške M2 [g]			975,99
Velkosť otvorov sít [mm]	Hmotnosť zachyteného materiálu R _i [g]	Percento zostatku na sítach	Súhrnné percento prepadu
		100 x R _i /M ₁ [%]	100 - Σ(100 x R _i /M ₁) [%]
22,4	0,0	0,0	100,0
16	12,2	1,2	98,8
11,2	91,5	9,3	89,4
8	118,6	12,1	77,3
4	293,1	29,9	47,4
2	198,1	20,2	27,2
1	131,3	13,4	13,8
0,5	61,0	6,2	7,6
0,25	31,4	3,2	4,4
0,125	18,3	1,9	2,5
0,063	13,8	1,4	1,1
P (zostatok na dne)	6,7	-	-
Kontrola:	[M ₂ -(ΣR _i +P)]x100/M ₂ = ... <1%		0,41

HORNÍ TAŠOVICE MZ 0/22

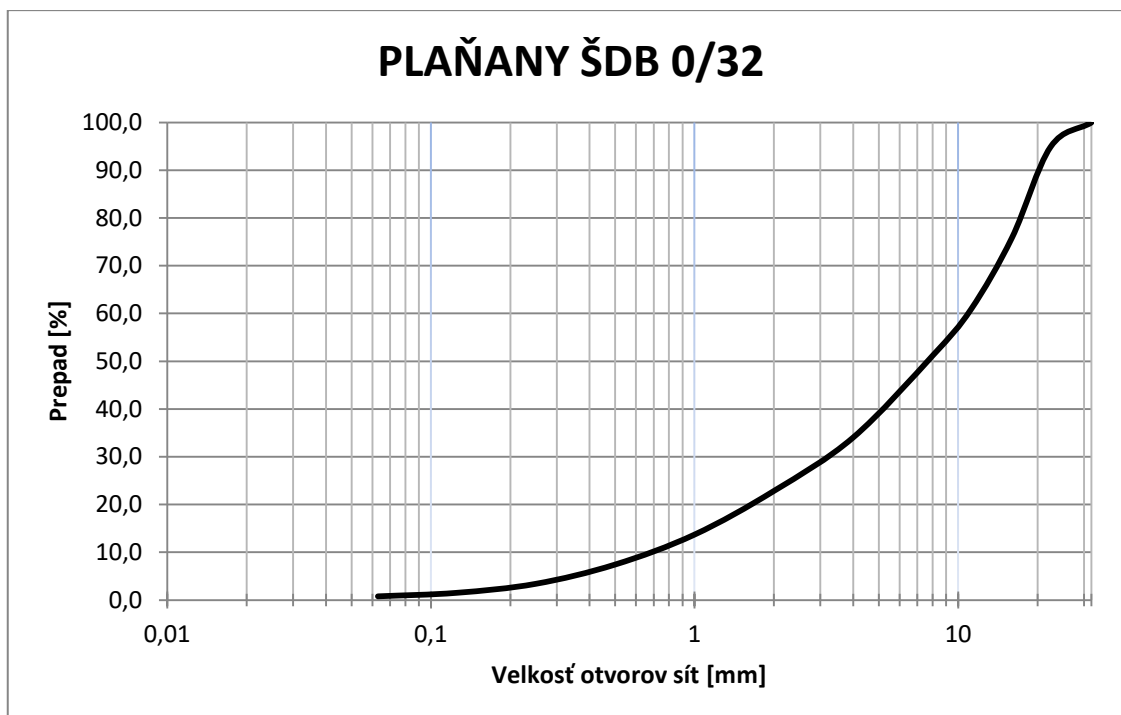


ZRNITOSŤ - SITOVÝ ROZBOR podľa ČSN EN 933-1			
Celková suchá hmotnosť M1 [g]			980
Suchá hmotnosť po skúške M2 [g]			977,1
Velkosť otvorov sita [mm]	Hmotnosť zachyteného materiálu R _i [g]	Percento zostatku na sitách	Súhrnné percento prepadu
		100 x R _i /M ₁ [%]	100 - Σ(100 x R _i /M ₁) [%]
22,4	0,0	0,0	100,0
16	76,2	7,8	92,2
11,2	135,5	13,8	78,4
8	131,5	13,4	65,0
4	239,6	24,4	40,5
2	145,6	14,9	25,7
1	108,9	11,1	14,6
0,5	62,2	6,3	8,2
0,25	35,3	3,6	4,6
0,125	19,0	1,9	2,7
0,063	10,4	1,1	1,6
P (zostatok na dne)	12,9	-	-
Kontrola:	[M ₂ -(ΣR _i +P)]x100/M ₂ = ... <1%		0,30

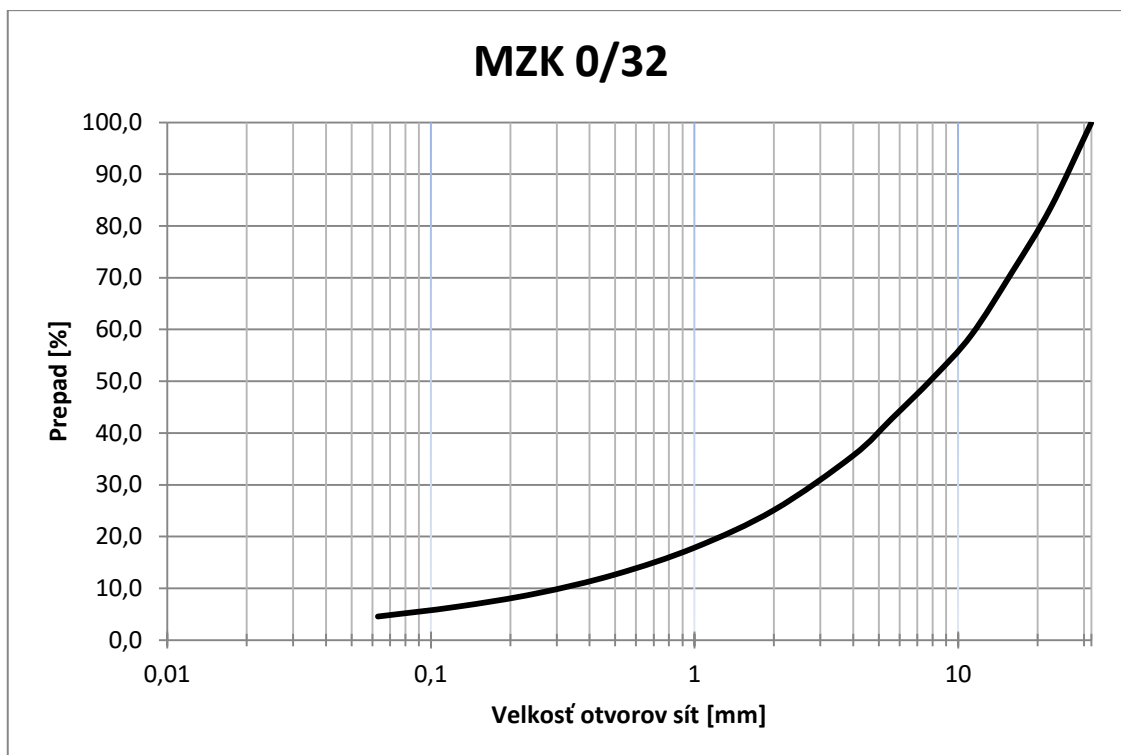
LIBOCHOVANY ŠDA 0/32



ZRNITOSŤ - SITO VÝ ROZBOR podľa ČSN EN 933-1			
Celková suchá hmotnosť M1 [g]			980
Suchá hmotnosť po skúške M2 [g]			977,6
Velkosť otvorov sít [mm]	Hmotnosť zachyteného materiálu R _i [g]	Percento zostatku na sítach	Súhrnné percento prepadu
		100 x R _i /M ₁ [%]	100 - Σ(100 x R _i /M ₁) [%]
32	0,0	0,0	100,0
22,4	60,2	6,1	93,9
16	93,5	9,5	84,3
11,2	124,4	12,7	71,6
8	133,6	13,6	58,0
4	103,5	10,6	47,4
2	143,5	14,6	32,8
1	153,0	15,6	17,2
0,5	81,3	8,3	8,9
0,25	44,2	4,5	4,4
0,125	22,6	2,3	2,1
0,063	9,3	0,9	1,1
P (zostatok na dne)	8,5	-	-
Kontrola:	$[M_2 - (\Sigma R_i + P)] \times 100 / M_2 = \dots < 1\%$		0,24



ZRNITOSŤ - SITO VÝ ROZBOR podľa ČSN EN 933-1			
Celková suchá hmotnosť M1 [g]			1000
Suchá hmotnosť po skúške M2 [g]			997,8
Velkosť otvorov sít [mm]	Hmotnosť zachyteného materiálu R _i [g]	Percento zostatku na sítách	Súhrnné percento prepadu
		100 x R _i /M ₁ [%]	100 - Σ(100 x R _i /M ₁) [%]
32	0,0	0,0	100,0
22,4	51,1	5,1	94,9
16	190,0	19,0	75,9
11,2	149,6	15,0	60,9
8	97,5	9,8	51,2
4	171,3	17,1	34,1
2	112,2	11,2	22,8
1	91,4	9,1	13,7
0,5	62,7	6,3	7,4
0,25	40,4	4,0	3,4
0,125	18,9	1,9	1,5
0,063	7,3	0,7	0,8
P (zostatok na dne)	5,4	-	-
Kontrola:	$[M_2 - (\Sigma R_i + P)] \times 100 / M_2 = \dots < 1\%$		0,22



ZRNITOSŤ - SITO VÝ ROZBOR podľa ČSN EN 933-1			
Celková suchá hmotnosť M1 [g]			1000
Suchá hmotnosť po skúške M2 [g]			996,6
Velkosť otvorov sít [mm]	Hmotnosť zachyteného materiálu R _i [g]	Percento zostatku na sítach	Súhrnné percento prepadu
		100 x R _i /M ₁ [%]	100 - Σ(100 x R _i /M ₁) [%]
32	0,0	0,00	100,0
22,4	164,0	16,50	83,5
16	123,1	12,43	71,1
11,2	121,9	12,19	58,9
8	83,0	8,30	50,6
5,6	77,9	7,81	42,8
4	70,5	7,12	35,7
2	105,3	10,56	25,1
1	72,5	7,25	17,8
0,5	51,9	5,19	12,7
0,25	36,9	3,69	9,0
0,125	25,6	2,56	6,4
0,063	20,0	2,00	4,5
P (zostatok na dne)	44,0	4,40	-
Kontrola:	$[M_2 - (\Sigma R_i + P)] \times 100 / M_2 = \dots < 1\%$		0,34

LADISLAV PELEŠKA
Potoční 470
338 43 Mirošov

Protokol o odběru vzorků

číslo:

Provozovna: TĚŠKOV

Účel odběru vzorku:

Druh kameniva: přírodní drcené
neprané

Datum a čas odběru: 12. 10. 2014

Použitý postup při odběru: ČSN EN 932-1
Použité zařízení při odběru: odběrná lopata

Těžená hornina: PORFYR
KŘEMENNÝ

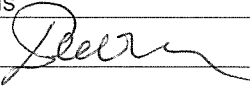
Klimatické podmínky:

Druh výrobku (frakce)	Místo odběru	Hmotnost vzorku	Číslo vzorku	Poznámky
0/22	skládka v lomu	200 kg		20x igelitový pytel

Rozsah sledovaných vlastností je stanoven příslušnou smlouvou o dílo.

Odběru se zúčastnili níže podepsaní pracovníci, kteří podpisem potvrzují, že odběr vzorků byl proveden v souladu s ČSN EN 932-1.

Pokud vzorkař vlastní osvědčení způsobilosti, uvede číslo Osvědčení v kolonce u jména a příjmení, případně přiloží Osvědčení k protokolu o odběru vzorků.

Funkce pracovníka	Jméno a příjmení/Osvědčení způsobilosti	Podpis
Vzorkař	Ladislav Peleška č. 22/ASPK/2011	

LADISLAV PELEŠKA
Potoční 470
338 43 Mirošov

Protokol o odběru vzorků

číslo:

Provozovna: LIBOCHOVANY

Účel odběru vzorku:

Druh kameniva: přírodní drcené
neprané

Datum a čas odběru: 10. 10. 2017

Použitý postup při odběru: ČSN EN 932-1
Použité zařízení při odběru: odběrná lopata

Těžená hornina: ČEDIČ


Klimatické podmínky:

Druh výrobku (frakce)	Místo odběru	Hmotnost vzorku	Číslo vzorku	Poznámky
0/32 ŠDA	skládka v lomu	200 kg		20x igelitový pytel

Rozsah sledovaných vlastností je stanoven příslušnou smlouvou o dílo.

Odběru se zúčastnili níže podepsaní pracovníci, kteří podpisem potvrzují, že odběr vzorků byl proveden v souladu s ČSN EN 932-1.

Pokud vzorkař vlastní osvědčení způsobilosti, uvede číslo Osvědčení v kolonce u jména a příjmení, případně přiloží Osvědčení k protokolu o odběru vzorků.

Funkce pracovníka	Jméno a příjmení/Osvědčení způsobilosti	Podpis
Vzorkař	Ladislav Peleška č. 22/ASPK/2011	

LADISLAV PELEŠKA
Potoční 470
338 43 Mirošov

Protokol o odběru vzorků

číslo:

Provozovna: PLAŇANY

Účel odběru vzorku:

Druh kameniva: přírodní drcené
neprané

Datum a čas odběru: 13. 10. 2014

Použitý postup při odběru: ČSN EN 932-1
Použité zařízení při odběru: odběrná lopata

Těžená hornina: RULA -
MIGMATIT

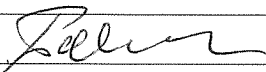
Klimatické podmínky:

Druh výrobku (frakce)	Místo odběru	Hmotnost vzorku	Číslo vzorku	Poznámky
0/32 ŠDB	skládka v lomu	200 kg		20x igelitový pytel

Rozsah sledovaných vlastností je stanoven příslušnou smlouvou o dílo.

Odběru se zúčastnili níže podepsaní pracovníci, kteří podpisem potvrzují, že odběr vzorků byl proveden v souladu s ČSN EN 932-1.

Pokud vzorkař vlastní osvědčení způsobilosti, uvede číslo Osvědčení v kolonce u jména a příjmení, případně přiloží Osvědčení k protokolu o odběru vzorků.

Funkce pracovníka	Jméno a příjmení/Osvědčení způsobilosti	Podpis
Vzorkař	Ladislav Peleška č. 22/ASPK/2011	

LADISLAV PELEŠKA
Potoční 470
338 43 Mírošov

Protokol o odběru vzorků

číslo:

Provozovna: HORNÍ
TAŠOVICE

Účel odběru vzorku:

Druh kameniva: přírodní drcené
neprané

Datum a čas odběru: 12. 10. 2017

Použitý postup při odběru: ČSN EN 932-1
Použité zařízení při odběru: odběrná lopata

Těžená hornina: ČEDIČ

Klimatické podmínky:

Druh výrobku (frakce)	Místo odběru	Hmotnost vzorku	Číslo vzorku	Poznámky
0/22	skládka v lomu	200 kg		20x igelitový pytel

Rozsah sledovaných vlastností je stanoven příslušnou smlouvou o dílo.

Odběru se zúčastnili níže podepsaní pracovníci, kteří podpisem potvrzují, že odběr vzorků byl proveden v souladu s ČSN EN 932-1.

Pokud vzorkař vlastní osvědčení způsobilosti, uvede číslo Osvědčení v kolonce u jména a příjmení, případně přiloží Osvědčení k protokolu o odběru vzorků.

Funkce pracovníka	Jméno a příjmení/Osvědčení způsobilosti	Podpis
Vzorkař	Ladislav Peleška č. 22/ASPK/2011	