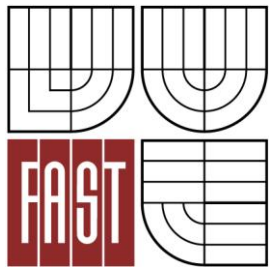




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# STAVEBNÍ RECYKLÁTY PRO STMELENÉ SMĚSI VOZOVEK

THE BUILDING WASTE FOR BOUND MIXTURES OF THE PAVEMENTS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. RADIM POKLUDA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.**

BRNO 2013



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav pozemních komunikací

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. RADIM POKLUDA
<b>Název</b>	Stavební recykláty pro stmelené směsi vozovek
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	30. 3. 2012
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	11. 1. 2013
V Brně dne 30. 3. 2012	

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

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

## **Podklady a literatura**

ČSN EN 13286-2 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 2: Zkušební metoda pro laboratorní stanovení objemové hmotnosti suché směsi a optimální vlhkosti - Proctorova zkouška

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

další normové předpisy týkající se řešené práce

veřejně přístupné články a literatura z internetu

výzkumné zprávy pro MD ČR a TAČR

diplomové práce z let 2000 - 2010

sborníky českých a zahraničních technických konferencí

apod.

## **Zásady pro vypracování**

Při návrhu a posuzování stavebních materiálů (především recyklovaných) do konstrukce vozovky pozemní komunikace je důležité přiblížit laboratorní zkoušení reálnému dopravnímu zatížení. Toto umožňují funkční zkoušky. Jednou z nejvýznamnějších funkčních zkoušek pro nestmelené materiály do podkladních vrstev vozovek je cyklická triaxiální zkouška pro stanovení trvalých deformací a modulů pružnosti zhutněných nestmelených a stmelených směsí materiálů.

Je důležité zhodnotit využití cyklické triaxiální zkoušky na základě porovnání s předpokládanými teoretickými modely dopravního zatížení. Předpokládá se ověřování pro stmelené směsi s různým obsahem jemnozrnné složky, různé čáry zrnitosti a obsahu použitého hydraulického pojiva u navržených stmelených směsí. Práce je zaměřena na srovnání výsledků dosažených laboratorním stanovením modulu pružnosti a měřením na pokusném silničním polygonu.

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

## ABSTRAKT

V teoretické části diplomové práce jsou obecně charakterizovány směsi stmelené hydraulickými pojivy, jejich typy, systémy klasifikace, technologie výroby a samotné pokládky. Dále jsou popsány zahraniční zkušenosti s využitím druhotných a recyklovaných materiálů do hydraulicky stmelěných směsí.

Praktická část se zabývá experimentálním ověřením možnosti využití druhotných surovin do směsí stmelěných hydraulickými pojivy v konstrukci vozovky pozemní komunikace. V silniční laboratoři Ústavu pozemních komunikací Vysokého učení technického v Brně bylo na pěti navržených směsích provedeno posouzení jejich parametrů s ohledem na možnost použití těchto směsí v podkladních vrstvách vozovky. Práce je rovněž zaměřena na srovnání výsledků modulů pružnosti zjištěných laboratorním zkoušením a měřením na pokusném silničním polygonu.

## KLÍČOVÁ SLOVA

směsi stmelené hydraulickými pojivy, směsný recyklát, pevnost v tlaku, pevnost v příčném tahu, cyklická triaxiální zkouška, modul pružnosti, kalifornský poměr únosnosti, okamžitý index únosnosti, dynamické rázové zařízení

## ABSTRACT

In the theoretical part of the thesis are generally characterized hydraulically bound mixtures, their types, classification systems, manufacturing technology and the laying. There are also described experiences from abroad with the use secondary and recycled materials in hydraulically bound mixtures.

The practical part deals with the experimental verification of the possibility of the use of secondary materials in hydraulically bound mixtures in construction of road infrastructure. In road laboratory Institute of road structures Brno university of technology was the five proposed mixtures, an assessment of their parameters with regard to the possibility of using these mixtures in the road sub-base layers. The work is also aimed at comparison of results elasticity modules reached laboratory testing and experimental measurements on road polygon.

## KEYWORDS

hydraulically bound mixtures, mixed recycled material, compressive strength, indirect tensile strength, cyclic triaxial test, modulus of elasticity, california bearing ratio, immediate bearing index, falling weight deflectometer

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

POKLUDA, Radim. Stavební recykláty pro stmelené směsi vozovek. Brno, 2013. 82 s., 60 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Dušana Stehlíka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 11. ledna 2013

.....  
Radim Pokluda

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Dušanu Stehlíkovi, Ph.D. za poskytnuté podklady, cenné rady, připomínky a odborné vedení při zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Pavlu Strakovi za pomoc při provádění laboratorních zkoušek.

**OBSAH**

Úvod .....	10
Teoretická část.....	11
1 Směsi stmelené hydraulickým pojivem.....	11
1.1 Výhody.....	12
1.2 Nevýhody.....	12
1.3 Faktory ovlivňující volbu použití stmelných směsí .....	12
1.4 Typy hydraulicky stmelných směsí.....	13
1.5 Klasifikace .....	13
1.5.1 Systém I.....	13
1.5.2 Systém II.....	14
2 Technologie .....	15
2.1 Výroba.....	15
2.2 Výstavba .....	15
3 Zahraniční zkušenosti .....	17
3.1 Belgie .....	17
3.2 Francie.....	20
3.3 Slovenská republika.....	22
3.4 Velká Británie .....	24
Praktická část.....	28
4 Navržené směsi.....	28
5 Použité materiály .....	29
5.1 Směsný recyklát .....	29
5.2 Pojiva .....	29
5.2.1 Vysokopecní cement CEM III/A 32,5 R .....	29
5.2.2 Georoc Doroport TB 25.....	29
5.3 Druhotné suroviny .....	30
5.3.1 Slévárenská skořepina .....	30
5.3.2 Vlákna z PET láhví.....	31
5.3.3 Drcená odpadní pryž.....	31
6 Postup prací .....	32
6.1 Zrnitost směsného recyklátu .....	32
6.2 Zhutnitelnost hydraulicky stmelných směsí.....	33
6.3 Stanovení pevností hydraulicky stmelných směsí.....	36
6.4 Odolnost směsí proti mrazu a vodě.....	47
6.5 Stanovení hodnot CBR a IBI .....	56

6.6	Stanovení modulů pružnosti .....	65
7	Měření na zkušebním polygonu .....	68
7.1	Měření únosnosti vozovky .....	69
8	Porovnání modulů pružnosti.....	71
	Závěr .....	72
	Použité informační zdroje.....	74
	Seznam grafů .....	76
	Seznam obrázků.....	77
	Seznam rovnic a vztahů .....	77
	Seznam tabulek.....	78
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	79
	Seznam příloh.....	80

## ÚVOD

V současné době se v souvislosti s trvalým rozvojem lidské společnosti často hovoří o omezování čerpání přírodních zdrojů, o recyklaci a používání odpadních hmot. [16]

Silniční stavitelství je obor činnosti pracující s vysokými objemy používaných hmot, s jejich těžebním, přemísťováním a ukládáním. V případě výstavby pozemních komunikací je snahou zabudovat různé materiály, které nemají jiné užití a vyskytují se ve velkých objemech. [16]

Pro tento účel jsou ideálním prostředkem směsi stmelené hydraulickými pojivy, které poskytují mnoho možností pro využití těchto materiálů v konstrukci vozovky. Právě posouzením vhodnosti použití hydraulicky stmelěných směsí obsahujících recyklované kamenivo v kombinaci s dalšími druhotnými surovinami v konstrukci vozovky pozemní komunikace se bude zabývat tato práce.

Teoretická část práce je rozdělena do tří hlavních kapitol. V první jsou obecně popsány směsi stmelené hydraulickými pojivy, výhody a nevýhody použití recyklovaných a druhotných surovin v těchto směsích, faktory ovlivňující volbu použití těchto materiálů, typy směsí a systémy jejich klasifikace. Následující kapitola je věnována technologii výstavby a problémům, které mohou vzniknout při samotné pokládce. V poslední kapitole jsou shrnuty zahraniční zkušenosti s využitím druhotných a recyklovaných materiálů do hydraulicky stmelěných směsí.

Praktická část začíná popisem navržených směsí a složek, z nichž se jednotlivé směsi skládají. Následuje kapitola nazvaná postup prací, kde jsou uvedeny postupy a výsledky jednotlivých zkoušek prováděných na navržených směsích. K hodnocení budou použity konvenční zkoušky pro zjištění základních parametrů zkoušeného materiálu a zkoušky funkční, které slouží k simulaci reálného namáhání materiálů v konstrukci vozovky. V poslední kapitole je popsána konstrukce zkušebního polygonu a princip měření jeho únosnosti. Rovněž jsou uvedeny výsledné moduly pružnosti, které slouží k porovnání s laboratorně zjištěnými moduly pružnosti.

Cílem je tedy ověřit funkční parametry směsného recyklátu stmelého hydraulickými pojivy (konkrétně cementem a Doroportem TB25) a následně experimentálně ověřit možnost využití druhotných surovin v těchto směsích. Práce je rovněž zaměřena na srovnání výsledků modulů pružnosti stmelěných směsí zjištěných laboratorním zkoušením pomocí cyklické triaxiální zkoušky a reálně naměřených modulů pružnosti na pokusném silničním polygonu.

V závěru jsou shrnuty poznatky získané z výsledků zkoušek a jsou uvedeny možné způsoby použití navržených směsí ve stavební praxi.

## TEORETICKÁ ČÁST

### 1 SMĚSI STMELLENÉ HYDRAULICKÝM POJIVEM

Směsi stmelené hydraulickým pojivem jsou dle ČSN EN 14227-1 definovány jako směsi obsahující kamenivo s řízenou zrnitostí a jedním či více hydraulickými pojivy, vyráběné způsobem, který zajišťuje homogenitu směsi. Tyto směsi tuhnou a tvrdnou hydraulickou reakcí a jejich klasifikace je založena na mechanických vlastnostech. [9]

Mezi hydraulická pojiva patří cement, popílek (ze spalování uhlí v elektrárnách) a struska (vedlejší produkt při tavení železa). Některá pojiva vyžadují aktivátor, jako například vápno nebo ocelářská struska. Ostatní vyžadují pouze přidání dostatečného množství vody. Rychlost nárůstu pevnosti, mez pevnosti a celkové chování směsí stmelovaných hydraulickými pojivy závisí na jejich stáří, vytvrzovacích podmínkách a na jednotlivých částech, z kterých jsou tvořeny (pojiva a kameniva). [23]

Vrstvy ze směsí stmelovaných hydraulickými pojivy mají relativně vysoký modul pružnosti a nízkou pevnost. Proto v nich i při malé deformaci vznikají velká napětí, kterým vrstva není schopna odolat. Vrstva je tedy křehká. Z tohoto důvodu se pod vlivem i malého zatížení každá položená vrstva porušuje a velmi rychle se v ní vytvoří množství nepatrných trhlinek. Tyto trhlinky ještě více sníží pevnost vrstvy (zejména v tahu za ohybu) ale na druhé straně zlepšují její „poddajnost“ tak, že se vrstva v netuhé vozovce nechová jako tuhá deska. [19]

Směsi mohou být navrženy tak, aby poskytovaly širokou škálu vlastností, různou rychlost vývinu pevnosti a/nebo tuhosti, a tím mohly být upraveny na míru specifickým požadavkům dané stavby. Mohou rychle nabývat pevnost v čase; v případě cementem stmelovaných materiálů, nebo pomalu v případě popílku nebo strusky. Flexibilita při výběru materiálu a vlastností poskytuje mnoho příležitostí pro širší využití recyklovaných a druhotných materiálů ve směsích, jako jsou kameniva a pojiva. Mají tedy mnoho potenciálních výhod v oblasti technické, stejně jako v oblasti udržitelného rozvoje. [22]

Hlavní smysl použití směsí stmelovaných hydraulickými pojivy v konstrukci vozovek je tedy v možnosti využití kameniva a různých místních materiálů nebo druhotných surovin, ze kterých nelze vyrobit kvalitní nestmelovanou vrstvu a které by bez možnosti aplikace hydraulických pojiv zůstaly nevyužity. [19]

Použití směsí stmelovaných hydraulickými pojivy obsahující recyklované a druhotné suroviny má výhody jak z hlediska stavebního, tak z hlediska udržitelného rozvoje. Přehled výhod a některých nevýhod je uveden níže.

## 1.1 VÝHODY

- poskytují příležitost k většímu uplatnění druhotných a recyklovaných materiálů pro hodnotnější využití, než jen jako nestmelená výplň (zásyp inženýrských sítí);
- lze produkovat materiály předepsané pevnosti/tuhosti nebo jiných technických vlastností podle potřeby;
- snižují poptávku po jiných stavebních materiálech, jako je přírodní kamenivo;
- mohou být použity za studena a získávají pevnost a/nebo tuhost v průběhu času (pomalé vytvrzování umožňuje využít delší časový interval pro pokládku, zhutňování a je-li požadováno vytvoření trhlin ve vrstvě);
- vysoké hodnoty pevnosti a tuhosti dosahované u těchto směsí umožňují snížení tloušťky nadložních vrstev vozovky (může vést ke snížení nákladů na projekt);
- umožňují opětovné použití vytěženého materiálu nebo materiálu z demolic získaného v místě stavby (snižuje se tak potřeba dovážet materiály, čímž se snižují náklady na přepravu materiálů, které by se jinak musely dovést nebo odebrat odjinud);
- mohou být vyrobeny buď na místě, nebo v míchacích centrech a mohou být navrženy tak, aby měly dlouhou životnost;
- zařízení vyžadovaná pro pokládání a zhutňování směsí jsou stejná, jaká se běžně používají pro nestmelené materiály nebo asfaltové směsí (lze tedy použít stejný finišer pro pokládku podkladní vrstvy z hydraulicky stmelené směsí jako pro pokládku asfaltových krytových vrstev, což je značnou výhodou pro dodavatele stavby, protože není třeba specializované vybavení) [23]

## 1.2 NEVÝHODY

- vyšší tuhosti některých směsí mohou vést k praskání a deformacím (vyšší riziko tvorby reflexních trhlin v nadložních asfaltových vrstvách), tento efekt může být zmírněn podporou vzniku mikrotrhlin přehutněním vrstvy v době zrání;
- tyto směsí vyžadují hutnění;
- při pokládce a hutnění jemnozrnných materiálů může být vyžadováno použití hutnicího nebo ježkového válce (zvýšení nákladů a/nebo času potřebného pro stavbu) [23]

## 1.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VOLBU POUŽITÍ STMELENÝCH SMĚSÍ

Existuje několik hlavních aspektů, které je třeba vzít v úvahu, při posouzení vhodnosti použití recyklátů do směsí stmelených hydraulickými pojivy. Patří mezi ně:

- Efektivnost materiálových zdrojů – bude hydraulicky stmelená vrstva účinnou náhradou nebo bude lepší než ostatní běžně používané stmelené nebo nestmelené materiály? Bude potenciální požadavek vysokého množství pojiva problémem?
- Ekonomie – dojde při použití hydraulicky stmelených směsí ke snížení nebo zachování nákladů na projekt, ve srovnání s běžně používanými materiály?
- Nákladní doprava – jsou materiály k dispozici na místě? Budou náklady spojené s přepravou převažovat nad úsporami nákladů?
- Technická – hydraulicky stmelené směsí poskytují kvalitní podkladní vrstvu a tím snižují požadavek na tloušťku nadložních vrstev. Jaký obsah pojiva je nutný, a jaké jsou požadované techniky hutnění? [23]

## 1.4 TYPY HYDRAULICKY STMELENÝCH SMĚSÍ

Hydraulicky stmelené směsi jsou rozděleny do čtyř skupin podle typu hydraulického pojiva používaného ve směsi:

- Směsi stmelené cementem;
- Směsi stmelené struskou;
- Směsi stmelené popílkem;
- Směsi stmelené hydraulickými silničními pojivy [23]

## 1.5 KLASIFIKACE

Hydraulicky stmelené směsi se klasifikují podle pevnostních charakteristik dané receptury jedním ze dvou uvedených způsobů:

- charakteristickou pevností v tlaku  $R_{ck}$  zkušební tělesa (Systém I) nebo;
- charakteristickou pevností v prostém tahu  $R_{tk}$  nebo pevností v příčném tahu  $R_{itk}$  a modulem pružnosti (E) zkušební tělesa (Systém II)

Systémy klasifikace pevnosti v tlaku (Systém I) nebo pevnosti v tahu s modulem pružnosti (Systém II) jsou vzájemně nezávislé a mezi třídami pevnosti těchto dvou systémů neexistuje žádný vztah. [9]

### 1.5.1 SYSTÉM I

Na základě charakteristické pevnosti v tlaku po 28 dnech zrání se směsi klasifikují podle tříd pevnosti (Tabulka 1). V souladu s ČSN EN 13286-41 se zkouška pevnosti v tlaku provádí na válcích o poměru výšky k průměru (H/D) 2,0 nebo na válcích či krychlich o poměru H/D 0,80 – 1,21 ve stáří zkušební tělesa 28 dní (Obrázek 1). Vzorky jsou vystaveny plynule se zvyšujícím zatížením tak, že dojde k porušení během 30 až 60 sekund od začátku zatěžování. Zjišťuje se maximální síla při porušení zkušební vzorku. Hodnota pevnosti směsi se vyjádří podílem maximální síly a plochy průřezu a udává se v megapascálech (MPa). [4] [9]

Tabulka 1 Charakteristická pevnost v tlaku (Systém I) [9]

Sloupec	1	2	3
Řádek	28 denní pevnost v tlaku MPa		Třída pevnosti
	Charakteristická pevnost $R_{ck}$		
	Válce H/D <sup>a</sup> = 2,0	Válce nebo krychle H/D <sup>a</sup> = 1,0 <sup>b</sup>	
1	Bez požadavku		$C_0$
2	1,5	2,0	$C_{1,5/2,0}$
3	3,0	4,0	$C_{3/4}$
4	5,0	6,0	$C_{5/6}$
5	8,0	10,0	$C_{8/10}$
6	12,0	15,0	$C_{12/15}$
7	16,0	20,0	$C_{16/20}$
8	20,0	25,0	$C_{20/25}$
<sup>a</sup> H/D = poměr mezi výškou a průměrem zkušební vzorku			
<sup>b</sup> H/D = 0,80 až 1,21			

Podle třídy pevnosti se posuzuje možnost využití směsí stmelovaných hydraulickými pojivy ve vozovce (Tabulka 2).

Tabulka 2 Užití směsí stmelovaných hydraulickými pojivy ve vozovce [1]

Třída pevnosti	Doporučená třída dopravního zatížení		
	Obrusná vrstva	Podkladní vrstva	Ochranná vrstva
$< C_{1,5/2,0}$	-	-	-
$C_{1,5/2,0}$	-	bez omezení	bez omezení
$C_{3/4}$	-	bez omezení	-
$C_{5/6}$ ; $C_{6/8}$	V, VI	bez omezení	-
$C_{8/10}$ ; $C_{9/12}$	V, VI	bez omezení	-
$C_{12/15}$ ; $C_{12/16}$	V, VI	bez omezení	-
$C_{15/20}$ ; $C_{16/20}$ a vyšší	-	-	-

### 1.5.2 SYSTÉM II

System II se týká mechanické charakterizace hydraulicky stmelovaných směsí pomocí kombinace přímé nebo nepřímé pevnosti v tahu a modulu pružnosti. Všechny tyto zkoušky vyžadují vzorky o minimálním poměru H/D 2,0. Přesný poměr minimální výšky k průměru je funkcí maximální velikosti kameniva a průměru vzorku. [13]

Zkouška pevnosti v tahu je určena k modelování sil působících na vrstvě vozovky ve směru kolmém k působícímu zatížení, pevnosti jsou vyjádřeny v MPa. Nicméně, pevnost v tahu  $R_t$  je obtížné určit experimentálně, takže je odvozena od nepřímé pevnosti v tahu  $R_{it}$  při využití převodního koeficientu podle rovnice 1: [13]

Rovnice 1 Vztah pro stanovení pevnosti v tahu [9]

$$R_t = R_{it} \times 0,8 \quad (1)$$

Pro stanovení modulu pružnosti materiálu se zkušební vzorek vystaví napětí v tlaku, přičemž se v průběhu zkoušky zaznamenává křivka závislosti síly na přetvoření. Vzorek je vybaven dvěma pevnými prstenci s průtahoměry, které měří velikost posunutí během zatížení (Obrázek 2). Výsledky se vyjádří dle ČSN EN 13286-43. [6]

Obrázek 1 Zkouška pevnosti v tlaku [13]



Obrázek 2 Zkouška modulu pružnosti [13]



## 2 TECHNOLOGIE

Stmelené podkladní vrstvy vozovek přenášejí velká dopravní zatížení od těžkých nákladních vozidel svou vysokou tuhostí. Používají se v návrhu konstrukčních vrstev vozovky pro nejvíce zatížené úseky. Problémem stmelených podkladních vrstev je vytváření pravidelných trhlin, které se velmi často a rychle prokopírují až do obrusné vrstvy vozovky pozemní komunikace. [19]

### 2.1 VÝROBA

Ze zrnitých materiálů se před zabudováním do vrstev připravují stavební směsi. Vyrábí se mísením kameniv (různých druhů a frakcí) s vodou a s hydraulickými pojivy na betonárnách nebo mícháním na místě. Kameniva by měla být uložena na pevném a čistém podkladu, aby se minimalizovaly rozdíly v obsahu vody. [19] [22]

### 2.2 VÝSTAVBA

Každý podklad, na který se směs stmelená hydraulickými pojivy klade, musí být vlhký. Směs se rozprostírá v jedné nebo více vrstvách finišery nebo grejdry (Obrázek 3). Není tedy potřeba žádné specializované zařízení. [19]

Rozprostírání směsi je nutno zahájit s ohledem na dobu zpracovatelnosti a zachování optimální vlhkosti směsi neprodleně po jejím dovezení nebo promísení zemní frézou. V případě, že je směs pokládána ve dvou vrstvách, musí být obě vrstvy pokládány v těsném sledu za sebou, aby bylo zajištěno spojení obou vrstev. [19]

Po rozprostření a urovnání povrchu vrstvy se musí ihned zhutňovat. Užívají se vibrační válce středně těžké až těžké s hmotností až 12 tun. Celá tloušťka vrstvy musí být zhutněna minimálně na 95% průměrné objemové hmotnosti laboratorních vzorků. Pracovní rychlost válce má přímý vliv na rovnost povrchu zhutněné vrstvy i dosaženou míru zhutnění. Nižší rychlost válce je v obou případech příznivá. Vyšší rychlost válce rovnost povrchu vrstvy zhoršuje, případně může dojít až k porušení či deformaci vrstvy. Obecně se doporučuje, aby rychlost pojezdu vibračního válce byla v rozmezí 2 až 3 km/h. Hutnění by mělo být vždy dokončeno pneumatikovým válcem. Vrstva ze směsi stmelené hydraulickým pojivem musí být minimálně 7 dní udržována vlhká. Po této době je možno provádět další vrstvu vozovky. [19]

Povrch vrstvy by neměl vyschnout před položením další vrstvy. Vyschnutí může být zabráněno nástřikem asfaltovou emulzí (Obrázek 4), která zajistí adekvátní vlhkost nutnou pro hydrataci vrstvy a zároveň pomáhá při vytvrzování vrstvy. [22]

Existují omezení pro pokládání hydraulicky stmelených směsí během chladného a deštivého počasí. Doba výstavby se liší v závislosti na typu použitého pojiva. Úprava a znovu zhutnění vrstvy je dovoleno pouze v době výstavby. V horkém počasí pomalu tuhnoucí hydraulicky stmelené směsi (směsi stmelené struskou nebo popílkem) umožňují delší čas na zpracování pokládky, zhutňování a tvorbu trhlin než je u směsí s rychlým tuhnutím (směsi stmelené cementem). [22]

Na podkladech ze směsí stmelených hydraulickými pojivy se doporučuje provést opatření proti vývoji reflexních trhlin, pokud prostá tlaková pevnost směsi přesahuje 8 MPa, aby se zabránilo prokopírování trhlin do asfaltových vrstev vozovky. Opatření spočívá v tvorbě mikrotrhlin přehutněním čerstvě položené vrstvy v době zrání vibračním válcem. Další možností je vytváření spár nebo vrypů v pravidelných vzdálenostech v čerstvě položené vrstvě (Obrázek 5) s následným vyplněním spáry asfaltovou zálivkou (Obrázek 6) před konečným zhutněním a dokončení povrchu. [22]

Pokud v podkladní vrstvě nevzniknou v dostatečné míře mikrotrhliny, vrstva se začne chovat jako betonová deska a vznikem příčných trhlin v důsledku smršťování a tepelných gradientů si vynutí potřebnou dilataci. Čím pevnější materiál, tím se smršťovací trhliny vytváří dál od sebe a následné pohyby v důsledku tepelných změn způsobují rozevírání trhlin. Tento pohyb se přenáší do horních vrstev a dochází k prokopírování smršťovacích trhlin z hydraulicky stmelené vrstvy do asfaltového krytu, v důsledku čehož vznikají reflexní trhliny. [19]

Podpora vzniku mikrotrhlin při pokládce vrstvy je v rozporu s návrhem směsi o vyšší pevnosti. Směs s navrženou vyšší pevností přehutněná válcem za účelem vzniku mikrotrhlin je téměř totéž jako směs o nižší pevnosti bez iniciace mikrotrhlin. [19]

Obrázek 3 Pokládka a hutnění vrstvy [22]



Obrázek 4 Nástřik asfaltové emulze [22]



Obrázek 5 Tvorba spár ve vrstvě [22]



Obrázek 6 Utěsnění asfaltovou zálivkou [22]



## 3 ZAHRANIČNÍ ZKUŠENOSTI

V této kapitole je cílem zmapovat zahraniční zkušenosti s využitím druhotných a recyklovaných materiálů do stmelěných směsí vozovek pozemních komunikací.

### 3.1 BELGIE

Následující informace byly převzaty ze zdroje [12]

V Belgickém centru silničního výzkumu (Belgian Road Research Centre BRRC) se zabývali použitím strusky, která vznikla jako vedlejší produkt při výrobě nerezové oceli, v cementem stmelěných směsích pro výstavbu silnic. Struska byla využita ve dvou případech a to jako kamenivo do hutněného betonu pro méně zatížené vozovky a jako kamenivo stabilizované cementem in situ tvořící podkladní vrstvu pod velké průmyslové skladiště. Vzhledem k zaměření práce na podkladní vrstvy vozovek bude popsán pouze druhý uvedený způsob využití strusky.

Společnost TRC – Recmix (Trading and Recycling Company n. v.) zhodnocuje tento odpadní materiál procesem, kterým lze získat jakostní kameniva vhodná pro použití ve stavebnictví. Zpracování se skládá z drcení, třídění, separace částic oceli z minerálního kameniva a zrání struskového kameniva. Struskové kamenivo je na trh uváděno pod názvem STINOX®.

#### PŮVOD A VLASTNOSTI STRUSKY

##### Mineralogické složení strusky

Pozornost byla věnována přítomnosti oxidu vápenatého (CaO) a oxidu hořečnatého (MgO), protože u těchto minerálů mohou proběhnout reakce vedoucí k objemové nestabilitě struskového kameniva. Struska obsahovala poměrně nízké zastoupení jak CaO (0,5 až 1%) tak MgO (7 až 8%).

Byla provedena zkouška zrychleného bobtnání čerstvě zpracované strusky, která ukázala zvětšení objemu o 1,5% po 7 dnech zkoušení. Tento výsledek nebyl nijak dramatický, ale prokázal, že musí být věnována pozornost náchylnosti k bobtnání a zcela bezpečné použití tohoto druhu strusky není zaručeno. Náchylnost k bobtnání lze snížit procesem stárnutí strusky na skládce. Jedná se o pomalý proces trvající nejméně tři měsíce, lze jej ovšem urychlit zvlhčením strusky ihned po drcení a prosévání a dalším zvlhčováním během skladování.

##### Mechanické vlastnosti strusky

K dispozici bylo struskové kamenivo dvou frakcí (0/7 mm a 7/20 mm). Frakce 7/20 mm obsahovala 1,3% jemných částic, což vyhovuje pro použití v podkladních vrstvách, ovšem mírně překračuje maximální limit 1% pro použití v obrusné vrstvě podle vlámských norem. S objemovou hmotností  $3,25 \text{ g.cm}^{-3}$  je struska podstatně těžší než tradiční přírodní kameniva. Vlastní charakteristiky strusky jsou dobré: odolnost proti oděru a drcení je dobrá, výsledky zkoušek Los Angeles a Micro-Deval spadají do „třídy A“ při kvalifikaci odděleně, ale do nižší „třídy B“, pokud jsou hodnoceny dohromady. Hodnota ohladitelnosti (PSV) se obtížně kvantifikovala, protože kameny s rovným a hladkým povrchem potřebné pro zkoušku dostatečně nereprezentovaly samotnou strusku. V BRRC měřili PSV dvakrát, s výsledky 46 a 50. Minimální požadavek pro použití v obrusné silniční vrstvě je 50. Takže je jednalo o kvalitní strusku, ale některé vlastnosti nevyhovovaly požadavkům pro použití v obrusných vrstvách vozovky. Na druhé straně, materiál splňoval požadavky pro podkladní vrstvy.

### Environmentální kvalita struskového kameniva

Surová struska obsahuje vysoké koncentrace těžkých kovů (chrom a nikl), které mohou být vyluhovány. Vlámská environmentální legislativa omezuje vyluhování těžkých kovů limity. V případě, že vyluhování chromu a niklu překročí limity pro použití jako nestmelené kamenivo, vlámská legislativa připouští použití strusky pouze v aplikacích, kde je stmelená pomocí hydraulického nebo asfaltového pojiva (tedy v betonových či asfaltových směsích).

### POUŽITÍ STRUSKOVÉHO KAMENIVA V PODKLADNÍ VRSTVĚ

Pro návrh cementem stmelené směsi byla použita struska Stinox frakce 0/20 mm, přírodní kamenivo (písek), cement CEM III/A 32,5 LA v množství 4 až 6% hm. a voda v množství odpovídajícímu optimální vlhkosti směsi zjištěné ze zkoušky Proctor standard.

Jednalo se o stavbu zpevněné plochy o velikosti asi 13,500 m<sup>2</sup> (135 m x 100 m) pro uskladnění struskového kameniva. Struktura vozovky zahrnovala: vodotěsný ochranný materiál ve formě geomembrány, pískové podloží vybavené drenážním systémem, podkladní vrstvu z cementem stmelené strusky o tloušťce 0,6 m a asfaltové směsi skládající se z podkladní a obrusné vrstvy.

Podkladní vrstva byla provedena ve třech po sobě jdoucích vrstvách, každá o tloušťce asi 20 cm po ztuhnutí. Směs byla míchána frézou přímo na stavbě. Každá vrstva byla vyrobena následujícím postupem: rozprostření a vyrovnaní vrstvy ze strusky STINOX 0/20 mm o tloušťce 17 cm, rozprostření a vyrovnaní vrstvy přírodního písku o tloušťce 4 cm, rozprostření 20 kg.m<sup>-2</sup> cementu na povrch vrstvy z písku, promíchání strusky, písku a cementu s vodou, vyrovnaní a ztuhnutí vrstvy. Byly použity standardní stavební stroje a zařízení; míchání bylo provedeno jedním pojezdem frézy.

### Kontrola vlastností použitých materiálů a směsí

Kvalita výstavby podkladní vrstvy byla posouzena na základě provedení zkoušek jednotlivých složek a směsí.

Ze staveniště bylo odebráno 6 vzorků pro zjištění objemové stability směsi. Výsledky prokázaly zvětšení objemu o 0,4 % po 1 dni a 1,8 až 2,9% po 7 dnech s průměrnou hodnotou 2,3%. Vlhkosti dosažené na jednotlivých vrstvách byly nižší než navržená 8% vlhkost (6,2% u vrstvy 1, 6,4% pro vrstvy 2 a 7,1% na horní vrstvě 3). Cement byl dávkován v projektu předepsaném množství 4%. Rozdělení velikosti částic naznačovalo dobrou zrnitost směsi.

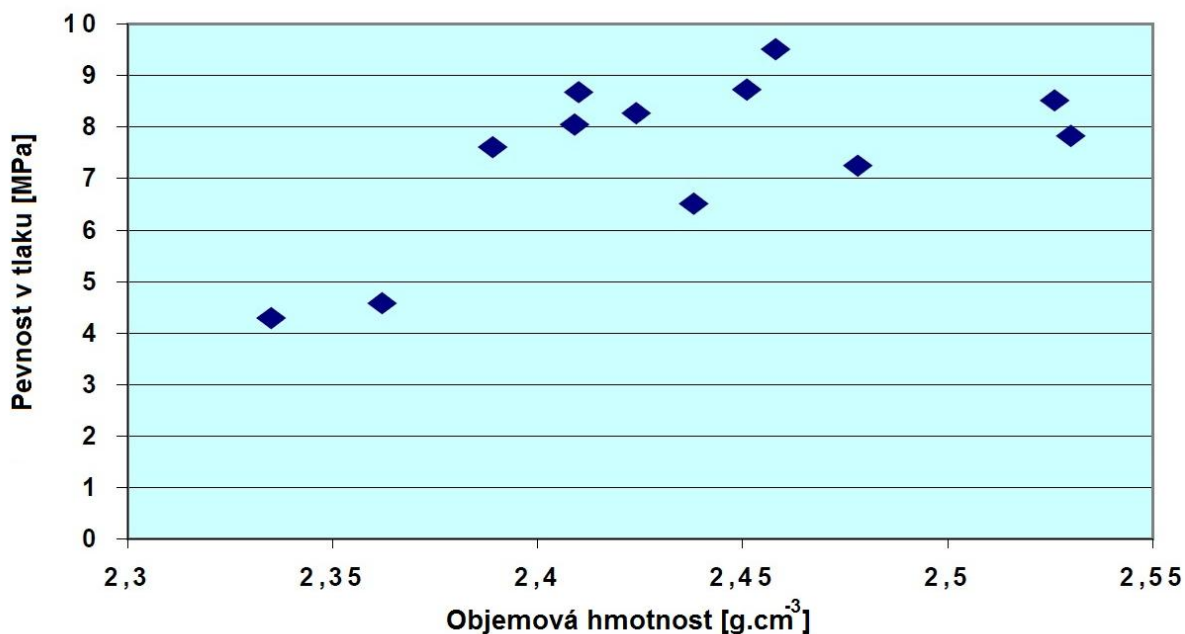
Pro zjištění pevnosti v prostém tlaku byly z horní vrstvy odebrány čtyři různé vzorky směsi a ručně ztuhněny v polní laboratoři podle postupu Proctor standard. Po 28 dnech byla stanovena pevnost v prostém tlaku. Objemová hmotnost in situ stabilizované směsi se struskou, měřená po 28 dnech po vytvrzení, byla v průměru 2,43 g.cm<sup>-3</sup>. Výsledky zkoušky pevnosti v prostém tlaku udává Tabulka 3.

Tabulka 3 Pevnost v tlaku zkušebních vzorků [12]

Série	Pevnost v tlaku po 28 dnech při 20°C [N.mm <sup>-2</sup> ]			
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Průměr
1	8,73	8,27	8,05	8,4
2	6,51	4,29	4,58	5,1
3	8,52	7,83	7,25	7,9
4	9,51	8,68	7,61	8,6

Hodnoty pevností měly poměrně široký rozptyl (4,3 až 9,5 MPa), který mohl být způsoben rozdíly ve složení směsi (různý obsah písku), dosažená průměrná hodnota 7,5 MPa je dobrá vzhledem k tomu, že byla použita pouze 4% cementu. Vztah mezi objemovou hmotností vzorků po výrobě a zhuštění a jejich pevností v tlaku znázorňuje Obrázek 7.

Obrázek 7 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku po 28 dnech zrání [12]



Kontrola míry zhuštění byla provedena radiometrickou soupravou. Spodní vrstva 1 a zejména horní vrstva 3 byly velmi dobře zhuštěné (97 až 99% ve srovnání s průměrnou hodnotou zhuštění 2,64 g.cm<sup>-3</sup> dosaženou postupem podle Proctorovy modifikované zkoušky, která byla brána jako referenční hodnota). Prostřední vrstva 2 byla méně zhuštěná, pravděpodobně v důsledku neoptimálního složení směsi a nízkého obsahu vody.

Únosnost podkladní vrstvy byla hodnocena lehkou dynamickou deskou o ploše 200 cm<sup>2</sup>. Belgické normy vyžadují modul stlačitelnosti  $M1 \geq 110$  MPa měřený maximálně po 72 h od dokončení vrstvy. Pět z osmi výsledků splnilo toto kritérium, ale další tři byly nižší než 110 MPa. V těchto místech bylo nutné další zhuštění.

## ZÁVĚR

Zkoumaná struska STINOX ® byla hodnocena jako kamenivo s dobrými mechanickými vlastnostmi, vhodnými pro použití v hydraulicky stmelených směsích pro stavbu silnic. Podkladní vrstva skladiště prováděná in-situ složená ze 78% strusky 0/20 mm, 18% přírodního písku, 4% cementu a 8% vody vykazovala dobré výsledky pro další použití.

### 3.2 FRANCIE

Následující informace byly převzaty ze zdroje [24]

Skupina autorů pod vedením Thierry Sedrana z Centrální laboratoře pro silnice a mosty LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Centre de Nantes), se zabývala využitím stabilizovaného popílku ze spaloven tuhého komunálního odpadu v silničních hydraulických materiálech.

Popílek vzniklý ze spalování tuhého komunálního odpadu je považován za nebezpečný odpad (obsahuje toxické látky), který musí být umístěn na skládkách po stabilizaci hydraulickými pojivy. Jedná se o finančně nákladné řešení a proto je snahou vyvinout jiné metody eliminace toxických látek ke zlevnění skládkování, nebo najít jeho další využití.

V rámci projektu Revasol vedeného společností Solvay byl vyvinut proces NOVOSOL®, který stabilizací kontaminovaných minerálních zbytků zhodnocuje popílek, jenž má zajímavé hydraulicky pojivé vlastnosti. Proces spočívá především v promytí popílku, následném přidání kyseliny fosforečné a tepelném zpracování (teploty 600 – 850°C). Těžké kovy jsou zachyceny v nerozpustné stabilní krystalické struktuře a organické zbytky jsou zničeny.

Byla provedena laboratorní studie pro vyhodnocení vlivu zlepšeného popílku na mechanické vlastnosti dobře zrněného kameniva zlepšeného hydraulickým pojivem. Popílek byl použit jako náhrada jemných částic v dobře zrněném hydraulickém materiálu, který byl navržen pro podkladní vrstvu vozovky. Pro posouzení byly postaveny dva 30 m dlouhé silniční úseky obsahující kamenivo zlepšené hydraulickým pojivem, jeden úsek se zlepšeným popílkem a druhý bez popílku.

Pro stavbu zkušebních úseků bylo použito místní vápencové kamenivo ve dvou frakcích (0/6 mm a 6/20 mm), tři různé druhy hydraulických pojiv klasicky používaných v silničních aplikacích (cement CEM II/B 32,5 R, hydraulické silniční pojivo ACR 3 a hašené vápno). Byly vyrobeny tři směsi, přičemž u každé směsi byl popílek dávkován v množství 0, 5, 15%. Pro zjištění optimálního množství vody byla provedena zkouška Proctor standard (Tabulka 4).

Tabulka 4 Zkoušené směsi [24]

Směs	Podíl k suché hmotnosti [%]				w [%]	$\rho_d$ [t.m <sup>-3</sup> ]	W <sub>OPT</sub> [%]	$\rho_{dOPT}$ [t.m <sup>-3</sup> ]
	6/20	0/6	Pojivo	Popílek				
C-0	51	45,5	3,5% CEM	0	6,6	2,25	6,2	2,26
C-5	51	40,5	3,5% CEM	5	7,1	2,21	6,6	2,23
C-15	51	30,5	3,5% CEM	15	8,3	2,13	8,3	2,13
A-0	51	45,5	3,5% ARC 3	0	6,3	2,24	6,3	2,23
A-5	51	40,5	3,5% ARC 3	5	6,8	2,21	6,6	2,21
A-15	51	30,5	3,5% ARC 3	15	8,1	2,12	8,3	2,13
CHX-15	51	31,5	3,5% vápna	15	8,8	2,12	8,8	2,12

#### Mechanické výsledky

Válcové zkušební vzorky (průměru 160 mm a výšky 320 mm) byly vyrobeny laboratorním vibračním zhutňovačem. Na válcích byly měřeny moduly pružnosti v tlaku a pevnost v tahu. Mechanické zkoušky byly provedeny po 28, 60 a 90 dnech pro směsi z cementu, silničního hydraulického pojiva a hašeného vápna dle francouzských norem.

Nárůst pevnosti v tahu ukazuje, že zlepšený popílek je reaktivní a působí jako doplňkové pojivo. Snížení modulu pružnosti je důsledkem vyššího objemu malty po přidání popílku. Návrh silniční vrstvy závisí jak na modulu pružnosti materiálu, který ovlivňuje napětí ve spodní vrstvě, tak na pevnosti v tahu, která udává maximální přijatelnou hodnotu napětí ve vrstvě. Pak jednoduchý způsob, jak porovnat dva silniční materiály, spočívá v porovnání tloušťek vrstvy umístěné na 100 MPa podkladu, potřebné k zajištění únosnosti pod konvenční 13-ti tunovou nápravou. Tato tloušťka se nazývá index elastické kvality: čím nižší, tím lepší materiál. Tabulka 5 ukazuje, že vzhledem k značnému nárůstu pevnosti a snížení modulu pružnosti, index elastické kvality klesá s rostoucím obsahem popílku.

Tabulka 5 Mechanické vlastnosti zkoušených směsí [24]

Směs	C0	C5	C15	A0	A5	A15	CHX15
Střední pevnost v tahu $R_{tb}$ [MPa]	0,8	1,65	1,6	1,09	1,7	1,86	1,29
Střední modul pružnosti E [MPa]	23000	26400	22233	26967	22167	22667	18800
EQI [cm]	29,2	19,3	18,6	25,8	18,1	17,3	21,8

Poznámka: směs C zrála 28 dní, směs A 60 dní a směs CH 90 dní.

### Zpracovatelnost

Běžně se minimální doba zpracovatelnosti pohybuje okolo 6 hodin. Této hodnoty ovšem není dosaženo u cementem stmelených směsí, i když byl použit zpomalovač. Naopak směsi s hydraulickým silničním pojivem ARC 3 vyhovovaly i bez použití zpomalovače. Zajímavý jev nastal přidáním popílku do této směsi, kdy se doba zpracovatelnosti zkrátila, zatímco inverzní jev byl pozorován pro cementem stmelené směsi.

### Zkušební úsek

Po slibných výsledcích získaných v laboratoři byl proveden zkušební polygon skládající se ze dvou úseků z kameniva stmeleného hydraulickým silničním pojivem, jeden úsek se zlepšeným popílkem a druhý bez popílku. Cílem tohoto experimentu bylo potvrdit laboratorní výsledky týkajících se mechanických vlastností, určit potenciální problémy při manipulaci s popílkem v průběhu výstavby a měření průtoku znečišťujících látek prosakující přes silnice. Předpokládalo se zatížení 60 nákladními vozidly za den.

V konstrukci vozovky byly použity geomembrány k zamezení znečištění areálu prosakující vodou. Pro stavbu byly použity dvě laboratorně zkoušené směsi s pojivem ARC 3, u kterých byl upraven obsah pojiva a popílku. U kontrolní směsi byl zvýšen obsah pojiva na 4,5% a obsah popílku ve zkoušené směsi byl omezen na 12%. Vlastnosti směsí udává Tabulka 6. Výstavba potvrdila již v laboratoři zjištěnou skutečnost, že u zkoušené směsi je kratší doba zpracovatelnosti (2 h 50 min) než u kontrolní směsi (9 h 30 min). V budoucnosti by měla být doba zpracovatelnosti upravena, například pomocí zpomalovače.

Tabulka 6 Směsi použité ve zkušebním polygonu [24]

Směs	Podíl k suché hmotnosti [%]				Cílové hodnoty		Zrání 60 dní		Zrání 360 dní	
	6/20	0/6	pojivo	popílek	w [%]	$\rho_d$ [t.m <sup>-3</sup> ]	$R_{tb}$ [MPa]	E [MPa]	$R_{tb}$ [MPa]	E [MPa]
Kontrolní	51	44,5	4,5% ACR 3	0	8	2,11	1,1	22000	1,35	23400
Zkoušená	51	33,5	3,5% ACR 3	12	10	2,02	1,3	22600	1,6	24400

## Závěr

Laboratorní studie jednoznačně prokázala, že popílek zlepšený procesem Novosol® může být použit v dobře zrněném kamenivu zlepšeném hydraulickým pojivem, pokud jde o mechanické vlastnosti. U všech třech vybraných pojiv (cement, hydraulické silniční pojivo a hašené vápno) použitých alespoň v množství 15% z celkové hmotnosti, popílek výrazně zvýšil únosnost hydraulicky stmelené směsi.

## 3.3 SLOVENSKÁ REPUBLIKA

Následující informace byly převzaty ze zdroje [20]

V Technickém a zkušebním ústavu stavebním v Bratislavě (TSÚS) ve spolupráci s firmou TPA s. r. o. se zabývali ověřením možnosti použití skleněného recyklátu, jako částečné náhrady kameniva pro hydraulicky stmelené směsi (cementem stmelené směsi) pro podkladové vrstvy vozovek.

Použitý skleněný recyklát byl vyroben z použitých televizních obrazovek a počítačových monitorů typu CRT v rámci procesu zpracování elektroodpadu. V rámci ověření užitečných parametrů materiálu byly provedeny zkoušky geometrických vlastností (zrnitost, obsah jemných částic), mechanických vlastností (odolnost proti fragmentaci a otěru), fyzikálních vlastností (objemová hmotnost, nasákavost). Na základě zkoušky nasákavosti byla posouzena odolnost proti zmrazování a rozmrazování. Vzhledem k charakteru materiálu se posuzovaly jeho další vlastnosti jako u odpadu za účelem jeho klasifikace a vhodnosti pro skládkování. K posouzení sloužily výsledky analytické kontroly a toxicity přítomných látek, na základě kterých byl materiál vyhodnocen jako inertní a není považován za nebezpečný.

Tabulka 7 Mechanické a fyzikální vlastnosti [20]

Odolnost proti otlukovosti (součinitel Los Angeles) [-]*		41
Odolnost proti otěru (součinitel otěru mikro-Deval) [-]*		8
Objemová hmotnost [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	Zdánlivá	2,79
	Recyklátu vysušeného v sušárně	2,70
	Recyklátu nasyceného a povrchově osušeného	2,73
Nasákavost [% hmotn.]		1,1
Poznámka: * zkouška provedená na frakci 10/14		

Dosažené mechanické a fyzikální výsledky byly v relaci s výsledky běžně stanovených na přírodním kamenivu (objemová hmotnost, odolnost proti otěru), materiál byl málo nasákavý, takže ho bylo možno považovat za odolný proti zmrazování a rozmrazování. Porovnáním s požadavky STN EN 13242 + A1 je možno jednotlivé vlastnosti označit jako kategorie: odolnost proti otlukovosti LA<sub>45</sub>, odolnost proti otěru M<sub>D</sub>15, u ostatních vlastností jde o deklarované hodnoty. Na základě těchto výsledků bylo rozhodnuto o jeho dalším použití.

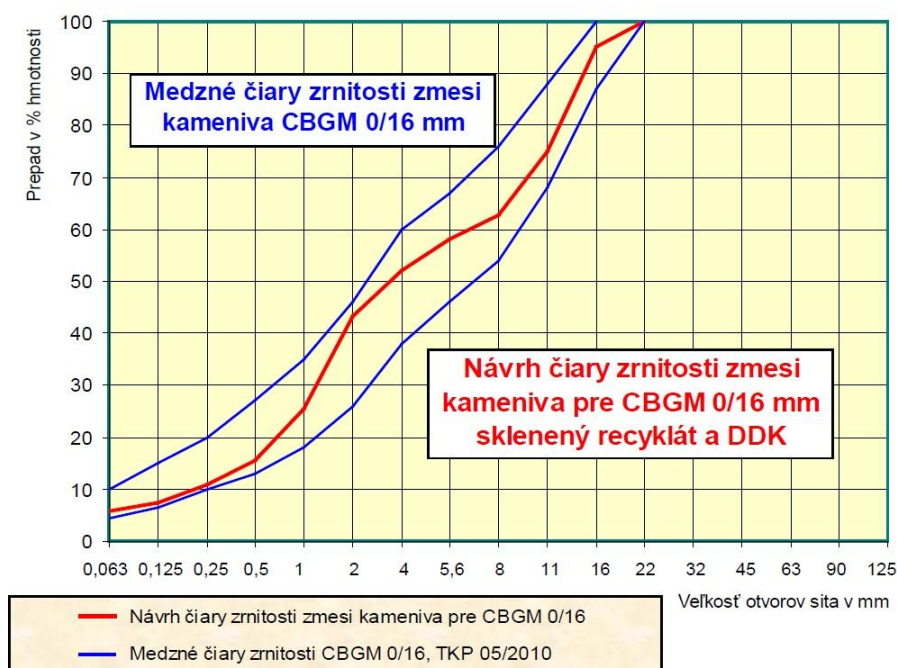
### NÁVRH CEMENTEM STMELÉNÉ SMĚSI SE SKLENĚNÝM RECYKLÁTEM

Pro návrh cementem stmelené směsi frakce 0/16 mm byl použit skleněný recyklát frakce 0/16 mm v kombinaci s přírodním kamenivem (dolomitický vápenec) frakce 0/4 mm. Jako pojivo byl použit portlandský struskový cement CEM III/A 32,5 R.

Na základě výsledků zkoušek zrnitosti vstupných materiálů byla navržena výsledná čára zrnitosti směsi kameniva ze 60 % ze skleněného recyklátu a ze 40 % z přírodního kameniva (Obrázek 8).

Pro zjištění potřebného množství pojiva ve směsi, byly provedeny tři sady směr s odlišným obsahem cementu a to v množstvích 3, 4, 5 % hmotnosti směsi. Pro každou sadu byla vyrobena čtyři válcová zkušební tělesa (výšky 120 mm a průměru 100 mm), která byla podrobena zkoušce pevnosti v tlaku po 28 dnech zrání ve vlhkém prostředí. Dosažené pevnosti v prostém tlaku udává Tabulka 8.

Obrázek 8 Výsledný návrh čáry zrnitosti směsi kameniva [20]



Tabulka 8 Pevnostní charakteristiky cementem stmelené směsi 0/16 [20]

Vlastnost navržené směsi	Obsah pojiva	Dosažená pevnost [MPa]	Deklarovaná třída pevnosti směsi
Pevnost v tlaku po 28 dnech - $R_{ck}$	3 %	3,3	-
	4 %	4,6	$C_{3/4}$
	5 %	5,8	$C_{3/4}$

Na základě pevností dosažených po 28 dnech zrání směsi je možné pro směsi s obsahem cementu 4 a 5 % deklarovat třídu pevnosti  $C_{3/4}$ . Při dávkování cementu v množství 3 % nebyla dosažena minimální požadovaná pevnost v tlaku pro třídu  $C_{3/4}$  (4 MPa).

V porovnání s podobnými směsmi vyrobenými jen na bázi přírodního drceného kameniva je možno konstatovat, že na dosáhnutí srovnatelných pevností směsi bylo v případě směsi kameniva se skleněným recyklátem potřebné použít o 1 až 2 % hmotnosti víc cementu. Na navrženou směs bylo ovšem potřeba použít menší množství záměsové vody na dosažení optimální vlhkosti směsi oproti směsím navrženým jen z přírodního kameniva. To je samozřejmě z důvodu nízké nasákavosti samotných zrn skleněného recyklátu.

Během výroby vzorků byly směsi dobře zpracovatelné a zhutnitelné, což naznačuje, že by neměly nastat problémy ani při samotném pokládání a hutnění konstrukční vrstvy na stavbě.

Využití navržených směsí je pravděpodobnější pro vozovky nižších tříd dopravního zatížení (TDZ IV až VI), případně jiné dopravní a zpevněné plochy. V případě nižších cen za skleněný recyklát než za přírodní kamenivo, by měla být výroba směsí s obsahem recyklátu ekonomičtější (když je nutno použít větší množství cementu) v porovnání s klasickými stavebními směsí.

### 3.4 VELKÁ BRITÁNIE

Následující informace byly převzaty ze zdroje [15]

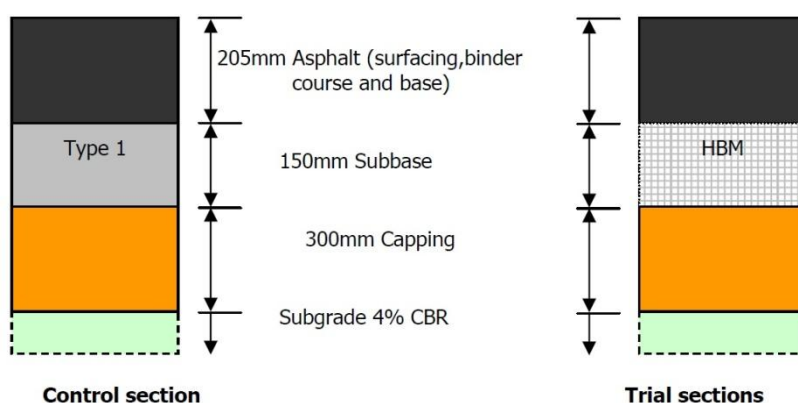
Cílem projektu bylo vyvinout metody výkonnostních zkoušek hydraulicky stmelených směsí k usnadnění většího využití recyklovaného a druhotného kameniva a poskytnout návod na jejich použití. Na postavených zkušebních polygonech byly provedeny zkoušky mechanických vlastností materiálů a měření únosnosti pro ověření laboratorního výzkumu a zajištění větší důvěry k používání těchto kameniv. Projekt byl realizován konsorciem pod vedením C4S při TRL a skládající se z Scott Wilson Pavement Engineering a Tarmac Limited.

#### Výstavba zkušebního úseku

Místem vybraným pro tuto studii byla přístupová cesta do pískového a štěrkového lomu Tarmac v Colchesteru. Cílem studie bylo porovnat chování hydraulicky stmelených spodních podkladních vrstev obsahující recyklované kamenivo (recycled aggregates RA) nebo recyklovaný asfalt (recycled asphalt planings RAP) s konvenční podkladní vrstvou. Polygon se skládal ze čtyř různých hydraulicky stmelených spodních podkladních vrstev a jedné kontrolní. Vzhledem k poměrně velké tloušťce asfaltových vrstev byly vytvořeny ještě dvě hydraulicky stmelené vrstvy bez krytových vrstev v nepojížděné oblasti tak, aby umožnily lepší pochopení chování materiálů.

Návrh skladby vozovky byl uvažován s 300 mm ochranné vrstvy a 150 mm podkladní vrstvy. Pro všechny úseky byla zvolena tloušťka asfaltu 205 mm. Směsi stmelené hydraulickými pojivy byly navrženy s relativně nízkou pevností materiálů. Cílem studie bylo prokázat zlepšení, které stmelené podkladní vrstvy dávají ve srovnání s kontrolním nestmelenou podkladní vrstvou.

Obrázek 9 Návrh konstrukce zkušebního polygonu [15]



Pro výstavbu zkušební polygonu byly vybrány dva typy kameniva a čtyři typy hydraulicky stmelených směsí. Kameniva použitá pro stavbu byla:

- recyklované kamenivo (RA) - frakce 0/20 mm, směs RA a recyklovaného betonového kameniva (RCA);
- recyklované asfaltové kamenivo (RAP) – frakce 0/20 mm;

Kameniva byla zvolena s ohledem na dobrou dostupnost ve Velké Británii a na výraznou odlišnost v pevnosti částic a zrnitosti obou materiálů.

Jako pojiva/aktivátory byla použita:

- portlandský cement (PC), (pro cementem stmelené směsi (CBGM));
- vápenný hydrát (HL), (pro struskou (SBM) a popílkem stmelené směsi (FABM));
- granulovaná vysokopecní struska (GBS), (pro SBM);
- popílek (PFA), (pro FABM).

Tabulka 9 Materiály pro směsi použité v polygonu [15]

Kamenivo	Kategorie dle SHW Series 800	Označení zkušební úseku	Zastoupení pojiva k suché hmotnosti [%]				Obsah vody [%]
			PC	HL	GBS	FA	
RA	CBGM B	CBGM (RA)	5,5	-	-	-	12,0
	FABM 2	FABM (RA)	-	3,0	-	12,0	13,0
	SBM B2	SBM (RA)	-	1,5	20,0	-	14,0
RAP	FABM 2	FABM (RAP)	-	3,0	-	13,0	8,0

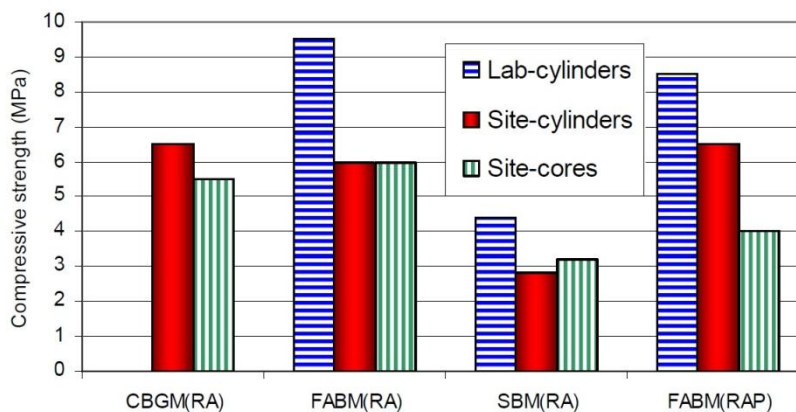
### Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti směsí stmelených hydraulickými pojivy byly hodnoceny a klasifikovány v souladu s příslušnými britskými normami pomocí následujících metod:

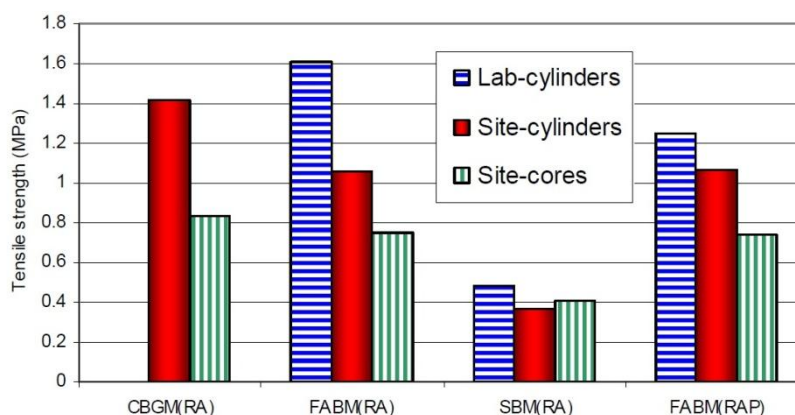
- pevnosti v tlaku vzorku ( $R_c$ );
- pevnosti v tahu vzorku ( $R_t$ ) z nepřímé pevnosti v tahu ( $R_{it}$ );
- Modul pružnosti vzorku ( $E_c$ ).

Zkoušky byly prováděny na zkušebních vzorcích připravených v laboratoři před výstavbou vozovky (laboratorní válce), na válcích připravených při výstavbě zkušební polygonu (válce ze stavby) a na jádrových vývrtech odebraných ze samotné konstrukce vozovky (vývrty). Pro všechny navržené stmelené směsi byly vytvořené laboratorní a na stavbě připravené válce podrobeny výše uvedeným zkouškám ve stáří 7 (pouze CBGM), 28, 90, 180 a 360 dnů. Jádrové vývrty byly podrobeny stejným zkouškám ve stáří 90, 180 a 360 dnů. Výsledky zkoušek jsou zobrazeny v následujících obrázcích.

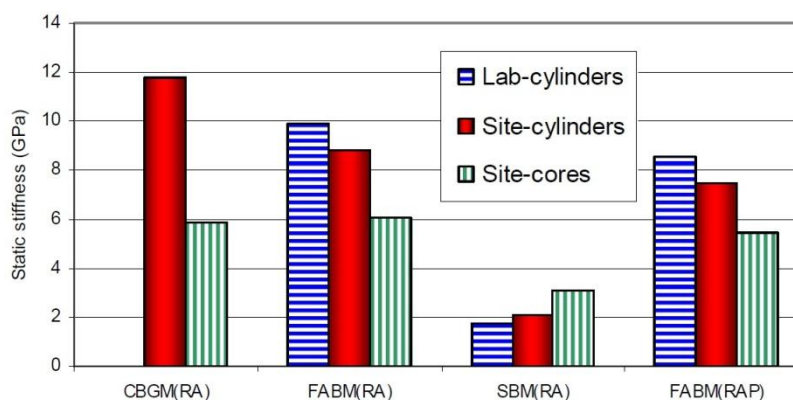
Obrázek 10 Srovnání pevností v tlaku po 360 dnech [15]



Obrázek 11 Srovnání pevností v tahu po 360 dnech [15]



Obrázek 12 Srovnání modulů pružnosti po 360 dnech [15]



Při porovnání průměrných výsledků tří sad vzorků je vidět, že ve všech zkouškách nabyly laboratorní válce vyšších hodnot, než jakých bylo dosaženo na válcích vyrobených na stavbě a jádrových vývrtech. Většina výsledků získaných z válců vyrobených na stavbě vykazovala vyšší hodnoty, než jakých dosahovaly jádrové vývrty, s výjimkou SBM. Výsledky ukazují, že SBM je materiál s menší tuhostí než ostatní směsi.

Míra zhutnění byla hodnocena pomocí radiometrické soupravy a pouze u zkušebních úseků z CBGM (RA) a FABM (RAP) nebylo dosaženo požadavku 95%.

Tuhost dokončené vozovky, hydraulicky stmelených podkladních a asfaltových vrstev byla měřena dynamickým rázovým zařízením a nárůst v čase ukazuje na rostoucí tuhost vrstev vozovky. To je do značné míry spojeno s vlivem teploty na asfaltové vrstvy, ale rovněž zahrnuje zvýšení tuhosti hydraulicky stmelené směsi. To je potvrzeno pomalejším nárůstem tuhosti kontrolního úseku než v úsecích s hydraulicky stmelenou vrstvou.

### **Závěr**

Studie byla velmi úspěšná a zjištěné výsledky ukazují, že hydraulicky stmelené spodní podkladní vrstvy mohou být úspěšně vyráběny z široce vyskytujících se kameniv jako recyklovaného kameniva a recyklovaného asfaltu při použití běžných pojiv a aktivátorů (cement, popílek, vysokopecní struska a vápno). Pomalé vytvrzování hydraulicky stmelených vrstev jako FABM a SBM mají některé výhody oproti rychlému vytvrzení směsi (CBGM), zejména tam, kde je vyžadováno opatření proti tvorbě trhlin. Úseky s hydraulicky stmelenými vrstvami vykazují vyšší tuhost pro kombinaci asfaltové/podkladní vrstvy než kontrolní úsek, což naznačuje, že hydraulicky stmelené vrstvy jsou tužší než nestmelená kontrolní podkladní vrstva.

Pokus prokázal, že hydraulicky stmelené vrstvy vyrobené z recyklovaného a druhotného kameniva mohou být úspěšně míchány a pokládány v praxi. Vrstvy byly položeny pomocí stejného finišeru jako asfaltové materiály a hutněny pomocí vibračních válců. Není tedy zapotřebí žádné specializované zařízení, což je nesporná výhoda pro dodavatele. Kromě toho, vrstvy byly pojížďeny stavebním provozem bez jakéhokoliv zjevného poškození, i když je třeba poznamenat, že staveništní doprava byla malá ve srovnání s normální dopravou na stavbě.

## PRAKTICKÁ ČÁST

### 4 NAVRŽENÉ SMĚSI

Pro experimentální ověření možnosti využití druhotných surovin v hydraulicky stmelených směsích bylo navrženo celkem pět směsí. Základním materiálem byl směsný recyklát odebraný na recyklační lince společnosti DUFONEV R. C., a. s. v Brně – Černovicích.

Jako pojivo byl použit vysokopecní cement s rychlým vývojem počáteční pevnosti (CEM III/A 32,5 R) a hydraulické silniční pojivo Doroport TB 25. S ohledem na předchozí zkušenosti je nutno ve stmelených směsích z druhotných materiálů volit vyšší množství pojiva než v případě použití přírodního kameniva. Ve všech případech bylo pojivo použito v množství 6 % hm k zajištění možnosti porovnání chování druhotných materiálů ve směsích.

Druhotnými surovinami aplikovanými do směsí byla slévárenská skořepina, vlákna z PET lahví a drcená odpadní pryž v různém množství. Pro srovnání vlivu jednotlivých surovin na chování směsí byla navržena směs I jako referenční. Přehled navržených stmelených směsí udává Tabulka 10.

Tabulka 10 Přehled navržených stmelených směsí

Označení směsi	Recyklát	Pojivo		Druhotná surovina	
		Druh	Množství	Druh	Množství
I	Směsný	CEM III/A 32,5 R	6% hm.	-	-
II	Směsný	DOROPOORT TB25	6% hm.	-	-
III	Směsný	CEM III/A 32,5 R	6% hm.	Slévárenská skořepina	10, 15% hm.
IV	Směsný	CEM III/A 32,5 R	6% hm.	Vlákna z PET lahví	1, 3, 5% hm.
V	Směsný	CEM III/A 32,5 R	6% hm.	Drcená odpadní pryž	1, 3, 5% hm.

Pozn.: Pro rozlišení jednotlivých sad směsí je zvoleno označení směsí římskými číslicemi a za pomlčkou následuje číslice arabská určující procentuální zastoupení druhotné suroviny ve směsi (např. směs IV – 3 označuje směs směsného recyklátu, cementu s třemi hmotnostními procenty PET vláken).

Na jednotlivých směsích byly provedeny konvenční zkoušky pro zjištění základních parametrů zkoušeného materiálu a to stanovení zrnitosti a zhutnitelnosti, pevnost v prostém tlaku, pevnost v příčném tahu, okamžitý index únosnosti IBI a kalifornský poměr únosnosti CBR.

Dále byly směsi podrobeny funkčním zkouškám simulujícím reálné namáhání materiálů, kterému jsou vystaveny v konstrukci vozovky. Mezi tyto zkoušky patří odolnost proti mrazu a vodě a zkouška cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji.

## 5 POUŽITÉ MATERIÁLY

Materiály byly voleny s ohledem na dostupnost, ekonomickou a ekologickou vhodnost pro použití při výstavbě konstrukce pozemní komunikace.

### 5.1 SMĚSNÝ RECYKLÁT

Jak již bylo uvedeno, materiál frakce 0/32 mm byl odebrán na recyklační lince společnosti DUFONEV R. C., a. s. v Brně – Černovicích. Podle vizuálního posouzení je tvořen převážně zeminou, částečně obsahuje zbytky zdiva a malty, okrajově i sklo, dřevo a plast. Aktuální prodejní cena frakce 0/16 mm je 20 Kč za tunu materiálu bez DPH. Podle prohlášení producenta, recyklát neobsahuje látky, které mají nebezpečné vlastnosti a neobsahují nebezpečné příměsi.

Pro další použití byl recyklát ručně pomocí laboratorního síta o velikosti otvorů 16 mm upraven na používanou frakci 0/16 mm.

*Obrázek 13 Směsný recyklát frakce 0/16 mm*



### 5.2 POJIVA

#### 5.2.1 VYSOKOPECNÍ CEMENT CEM III/A 32,5 R

Jedná se o vysokopecní rychle tuhnoucí cement se zvýšeným obsahem vysokopecní strusky (do max. 50 %). Toto pojivo je charakteristické příznivým nárůstem počátečních pevností a nízkým vývinem hydratačního tepla. Je odolné proti agresivnímu prostředí.

#### 5.2.2 GEOROC DOROPORT TB 25

Georoc Doroport TB 25 je deklarován jako hydraulické silniční pojivo určené pro stavbu stmelěných podkladních vrstev vozovek a stabilizovaných podkladů.

Použitím tohoto materiálu vzniká zhutnitelná struktura, která neobsahuje spoje, má vysokou únosnost a odolnost proti působení mrazu. Je také vysoce odolný proti síranům v důsledku čehož se při jejich výskytu neprojevují problémy způsobené rozpínáním. Směsi s tímto pojivem nemají sklon k tvorbě trhlin. Průběh nárůstu pevností je pozvolnější než u cementů.

Vyrábí se kombinovaným mletím slínku a hydraulických komponent a jeho vlastnosti lze přizpůsobit požadavkům na konečné vlastnosti podkladních vrstev. [14]

## 5.3 DRUHOTNÉ SUROVINY

### 5.3.1 SLÉVÁRENSKÁ SKOŘEPINA

Jedná se o formovací směs tvořenou křemičitým pískem, který je stmelěn buď organickými, nebo anorganickými pojivy. Z anorganických pojiv se nejčastěji používá jílu (bentonit), vodní sklo, z organických pojiv pak pryskyřičná pojiva. Tato směs slouží ve slévárnách k tvorbě forem pro kovové odlitky složitých tvarů (Obrázek 14). Prioritou je, pokud pomíjí předcházení vzniku odpadu, samozřejmě opětovné použití ve slévárenské výrobě, kdy procesem regenerace se křemičitý písek znovu použije pro tvorbu formovací směsi. Ovšem tento proces nelze opakovat donekonečna, tudíž je nutno hledat uplatnění i jiných odvětví. Právě silniční stavitelství představuje jednu z možností. [16]

Jak již bylo uvedeno výše, slévárenský písek je čistý křemičitý písek obalený tenkým filmem zbytkového pojiva, který lze uplatnit v konstrukci vozovek:

- jako náhradu části drobného kameniva v asfaltových směsích
- při výrobě cementu a jeho použití při stavbě cementobetonových krytů nebo cementem stmelěných podkladních vrstev
- pro nestmelené a hydraulicky stmelené podkladní vrstvy
- materiál pro násypy a zásypy [16]

Omezení, pro použití tohoto materiálu s ohledem na použitelnost, spočívá v zaoblenosti zrn a stejnozrnnosti, což má za následek nízkou stabilitu a problémy s hutněním. Často je slévárenský písek používán pro upravení čáry zrnitosti kameniva (obsah 10 - 20 %). [16]

Pro posouzení možnosti uplatnění tohoto materiálu ve stmelěných podkladních vrstvách byla navržena směs stmelěná cementem s 10 a 15 % slévárenské skořepiny. Jednotlivé fragmenty skořepiny byly rozdrceny a prosety sítím o velikosti 0,25 mm k zajištění jednotné velikosti zrn materiálu (Obrázek 15).

Obrázek 14 Forma pro odlévání kovů



Obrázek 15 Drcení slévárenské skořepiny



### 5.3.2 VLÁKNA Z PET LÁHVI

Hlavním důvodem použití vláken nastříhaných z odpadových PET láhví do směsí stmelených cementem je omezit vznik popřípadě šíření nežádoucích smršťovacích trhlin. Právě smršťovací trhliny jsou největším nebezpečím při použití stmelených vrstev do konstrukce vozovky, kdy v důsledku teplotních změn dochází k prokopírování trhlin až do krytových vrstev. V návrhu směsí byla použita vlákna proměnné délky o šířce 1 mm. Délka vláken byla zvolena v rozsahu 40 – 70 mm z důvodu zajištění provázání hrubých zrn směsného recyklátu vláknou.

### 5.3.3 DRCENÁ ODPADNÍ PRYŽ

Tento materiál si v silničním stavitelství našel uplatnění především v asfaltových směších. Jeho zabudování do asfaltových směsí za horka probíhá dvěma různými metodami a to metodou za mokra a za sucha. U postupu za mokra se mletá pryž míchá s asfaltem (obvykle v množství 18% až 25%) a působí jako asfaltový modifikátor. Výsledný produkt je často označován jako asfalt modifikovaný pryžovým granulátem. U postupu za sucha je granulovaná a/nebo rozemletá pryž užitá jako náhrada malého množství drobného kameniva (obvykle 1 % až 3 % hmotnosti celkového množství kameniva ve směsi). Výsledný produkt je někdy označován jako asfaltový beton modifikovaný gumou (RUMAC). [16]

Drcená odpadní pryž je charakteristická nízkou hmotností a pružným chováním. Je tvořena pravidelnými kubickými zrny s relativně malým povrchem zrn. Získá se drcením, tříděním, magnetickou separací ocelové výztuže a vyfoukáním vláken tvořících kostru pneumatiky. V této práci bylo snahou využitím tohoto materiálu „zpružnit“ směsi stmelené cementem. [16]

Obrázek 16 Druhotné suroviny použité v cementem stmelených směších



Poznámka: zleva slévárenská skořepina, PET vlákna, drcená odpadní pryž

## 6 POSTUP PRACÍ

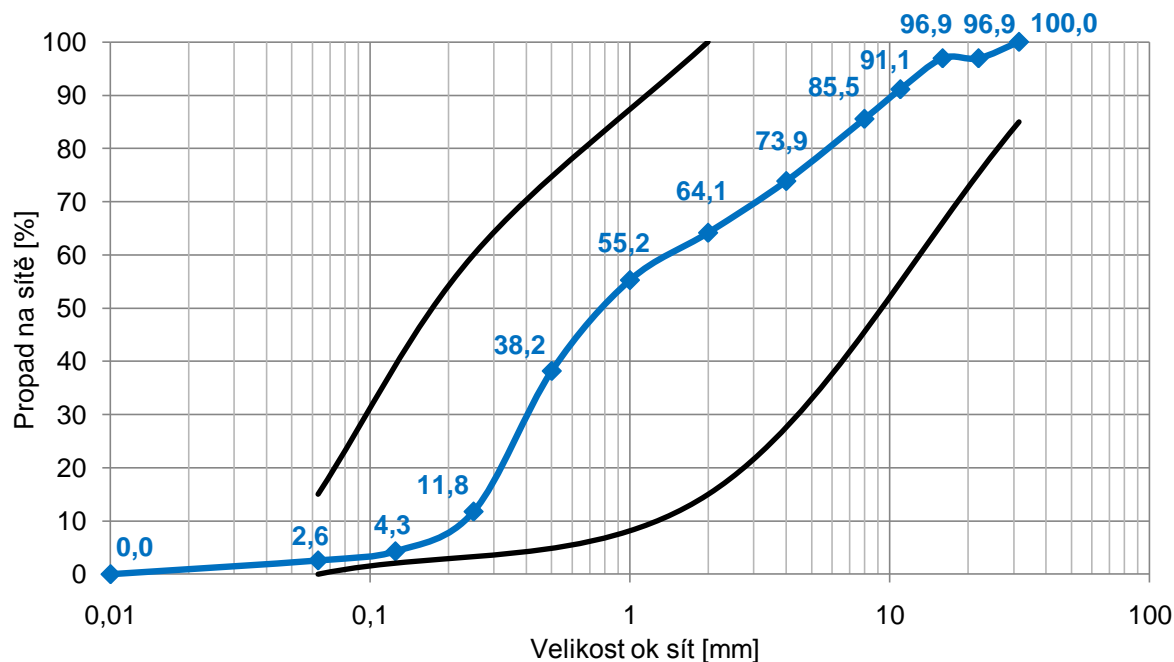
Nejprve bylo nutné stanovit zrnitost směsného recyklátu frakce 0/32 mm a následně zhutnitelnost jednotlivých navržených stmelených směsí. Po vyhotovení zkušebních válcových těles a jejich požadované době zrání, byly tyto vzorky postupně podrobeny zkouškám pevnosti v prostém tlaku, pevnosti v příčném tahu, odolnosti proti mrazu a vodě, zkoušce cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji. Rovněž byla provedena zkouška pro stanovení okamžitého indexu únosnosti IBI (Immediate Bearing Index) a kalifornského poměru únosnosti CBR (California Bearing Ratio).

Všechny směsi byly připraveny, vyrobeny a zkoušeny v souladu s příslušnými platnými českými a evropskými normami. Výsledky a postup jednotlivých zkoušek jsou uvedeny dále v této práci.

### 6.1 ZRNITOST SMĚSNÉHO RECYKLÁTU

Zkušební postup stanovení zrnitosti směsného recyklátu probíhal v souladu s ČSN EN 933-1. Byla zvolena metoda prosévání za sucha. Zkušební navážka byla vysušena při teplotě 110 °C do ustálené hmotnosti. Následně byla nasypána na sloupec sít na sobě uspořádaných tak, že od horního síta k dolnímu sítu se zmenšovaly velikosti otvorů sít. Po ukončení mechanického prosévání byla síta odebírána jedno po druhém a byla zjišťována hmotnost zachyceného materiálu na jednotlivých sítích, která se vyjádřila jako procento původní hmotnosti navážky. Výsledkem zkoušky je souhrnné procento propadů každým sítem. Zrnitost směsného recyklátu zobrazuje Graf 1.

Graf 1 Čára zrnitosti směsného recyklátu frakce 0/32 mm



Zrnitost směsného recyklátu se nachází uvnitř oboru zrnitosti, který slouží k posouzení vhodnosti materiálu do stmelených směsí. Materiál lze tedy hodnotit jako vhodný.

Obsah jemných částic menších než 0,063 mm byl stanoven na 2,6 % hm., obsah písčité složky na 61,5 % hm. a šterkovité složky na 35,9 % hm. Zatřídění podle klasifikace uvedené v ČSN 73 6133 odpovídá směsný recyklát písku dobře zrněnému (S1 SW).

## 6.2 ZHUTNITELNOST HYDRAULICKY STMELENÝCH SMĚSÍ

Zhutnitelnost směsí byla zjišťována modifikovanou Proctorovou zkouškou dle zkušebního postupu uvedeného v ČSN EN 13286-2. Směsi byly připravovány ze směsného recyklátu frakce 0/16 mm, daného pojiva v množství 6 % hm. a případně druhotné suroviny v předepsaném množství.

Od všech směsí bylo namícháno pět dílčích vzorků, každý s odlišným množstvím vody. Hutnění probíhalo do Proctorova moždíře A (válcovitý moždíř průměru 100 mm a výšky 120 mm) pěchem o hmotnosti 4,5 kg padajícího z výšky 305 mm. K dosažení Proctorovy modifikované energie bylo nutné z důvodu použité menší výšky dopadu 305 mm (normou předepsána výška 457 mm) výpočtem zjistit, počet potřebných úderů na každou z pěti vrstev. Z níže uvedené rovnice z normy ČSN EN 13286-2 příloha A byl potřebný počet úderů na každou vrstvu stanoven na 38.

*Rovnice 2 Vztah pro výpočet hutnicí energie [3]*

$$\text{Hutnicí energie} = \frac{\text{hmotnost p\text{e}chu} \times \text{v\text{y}ška dopadu} \times \text{počet úderů na vrstvu} \times \text{počet vrstev} \times \text{gravitace}}{\text{objem moždíře}} \quad (2)$$

*Obrázek 17 Hutnění směsí Proctorovou modifikovanou energií*



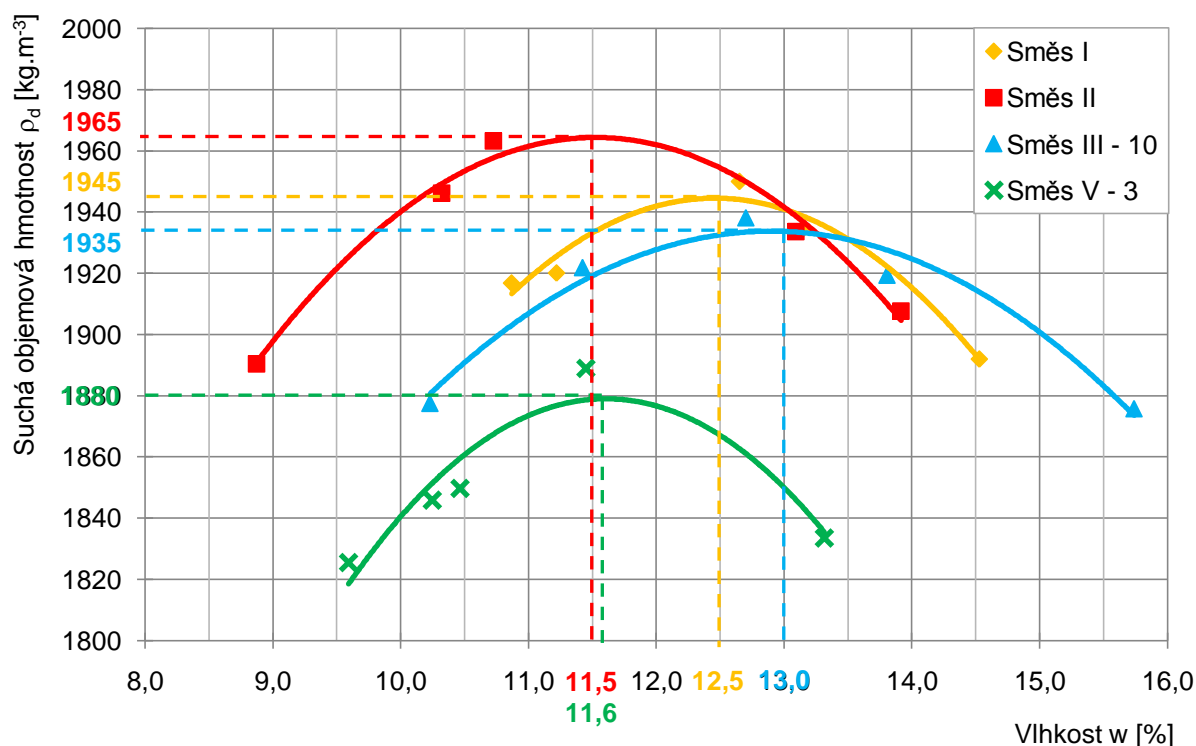
Ze známého objemu moždíře, zjištěných hmotností zhutněných vlhkých směsí a vlhkostí směsí byly vypočítány objemové hmotnosti zhutněných suchých směsí. Hodnoty suchých objemových hmotností směsí  $\rho_d$  byly v závislosti na vlhkostech  $w$  vyneseny do grafů a aproximovány parabolickou křivkou. Průmětem vrcholu paraboly do obou os byly zjištěny důležité parametry zhutnitelnosti a to optimální vlhkost  $w_{OPT}$  a maximální objemová hmotnost suché směsi  $\rho_{d,max}$  (Graf 2).

Tabulka 11 Zhutnitelnost stmelových směsí

Stanovení zhutnitelnosti – Proctorova modifikovaná zkouška								
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-2								
Bod	Směs I		Směs II		Směs III – 10		Směs V – 3	
	w [%]	$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	w [%]	$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	w [%]	$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	w [%]	$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
1	10,87	1916,82	8,87	1890,36	10,23	1877,58	9,59	1825,54
2	11,22	1920,11	10,32	1946,17	11,42	1921,83	10,25	1845,89
3	12,65	1949,95	10,72	1963,20	12,70	1938,07	10,46	1849,69
4	13,15	1934,46	13,09	1933,69	13,81	1919,35	11,45	1888,90
5	14,53	1892,04	13,92	1907,64	15,74	1875,84	13,32	1833,44
$w_{OPT}$ [%]	12,5		11,5		13,0		11,6	
$\rho_{d,max}$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	1945		1965		1935		1880	

Zhutnitelnost směsi III byla určována s 10 procentním zastoupením slévarenské skořepiny, směsi V s 3 procentním obsahem drcené pryže.

Graf 2 Zhutnitelnost stmelových směsí



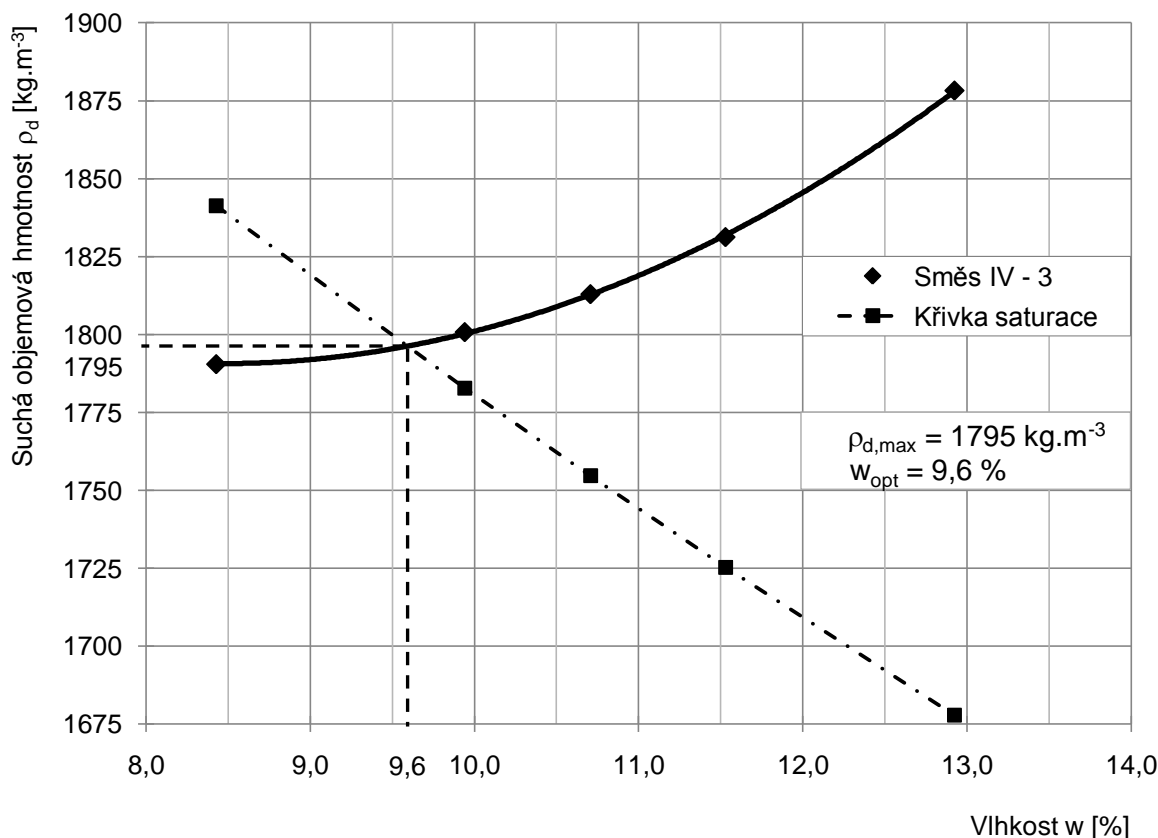
U směsi s PET vlákny netvořily vynesené hodnoty standardní parabolickou křivku. Pro stanovení optimální vlhkosti a maximální objemové hmotnosti suché směsi byla tedy použita saturační křivka se stupněm saturace 85 % ( $S_r = 85\%$ ) podle normy ČSN EN 13286-2. Průmětem průsečíku obou křivek do os byly zjištěny potřebné parametry (Graf 3).

Tabulka 12 Zhutnitelnost cementem stmelené směsi s 3 % PET vláken

Stanovení zhutnitelnosti – Proctorova modifikovaná zkouška					
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-2					
w [%]	8,43	9,94	10,71	11,53	12,93
$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	1790,49	1800,76	1812,93	1831,24	1878,24
$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ] ( $S_r = 85\%$ )	1841,30	1782,82	1754,64	1725,33	1677,81

Zhutnitelnost směsi IV byla pro celou sadu zkušebních těles určována s 3 procentním zastoupení PET vláken.

Graf 3 Zhutnitelnost cementem stmelené směsi s 3 % PET vláken



### 6.3 STANOVENÍ PEVNOSTÍ HYDRAULICKY STMELENÝCH SMĚSÍ

Pro stanovení pevností hydraulicky stmelených směsí v prostém tlaku a příčném tahu byly pro každou zkoušku připraveny čtyři válcové zkušební vzorky o průměru 100 mm a výšce 100 mm. Směsi byly připraveny za optimální vlhkosti zjištěné z modifikované Proctorovy zkoušky a hutněny do ocelové formy lisem při statickém zatížení  $400 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Směsi se nechaly zrát ve formě po dobu 24 hodin při laboratorní teplotě. K vyjmutí zkušebních vzorků z formy byl použit ruční lis. Vzorky se následně uložily na dobu 27 dní do komory, ve které je udržována stálá vlhkost.

Obrázek 18 Hutnění zkušebních vzorků



Obrázek 19 Vyjmutí zkušebních vzorků z formy



Obrázek 20 Zrání vzorků za stálé vlhkosti



Obrázek 21 Zkušební lis InfraTest



Nutno podotknout, že v případě tvorby zkušebních vzorků ze směsi s drcenou odpadní pryží vznikl problém se soudržností. U těles po jednodenním zrání a vyjmutí z formy docházelo k odprýskávání čel, objevovaly se příčné trhliny a při pouhém dotyku vykazovaly značnou pružnost. Snahou bylo omezit popsané problémy ponecháním směsi ve formě po dobu tří dnů k zajištění dostatečného ztvrdnutí směsi. Popsané opatření se však neseťkalo s úspěchem. Dalším pokusem bylo postupné snižování obsahu drcené odpadní pryže ve směsi z 5% na 3%, 1%, 0,5% až na 0,1%. I po tomto postupu nebyla vzniklá tělesa vhodná k dalšímu zkoušení. V důsledku těchto skutečností bylo od směsi s drcenou odpadní pryží upuštěno.

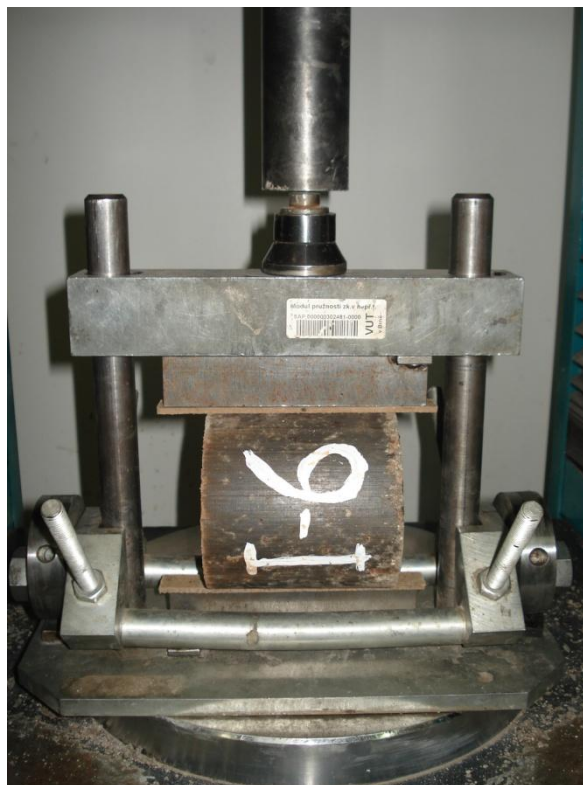
Po uplynutí doby zrání byly zkušební vzorky podrobeny zkouškám pevnosti v prostém tlaku a příčném tahu na zkušebním lisu InfraTest ve firmě CONSULTTEST s. r. o. dle zkušebních postupů uvedených v ČSN EN 13286-41, respektive ČSN EN 13286-42. Podstatou zkoušek je vystavit zkušební těleso takové síle, při které dojde k porušení. Ze zaznamenané síly při porušení vztahené k ploše průřezu se vypočítá pevnost. Výsledné pevnosti jednotlivých směsí jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Podle normy ČSN EN 13286-41 je výsledná pevnost v tlaku zkušební tělesa aritmetickým průměrem tří měření. V této práci byly pro zjištění pevnostních charakteristik navržených směsí vyrobeny čtyři zkušební vzorky, jeden vzorek lze tedy z vyhodnocovacího procesu vyřadit. K tomuto opatření bylo přistoupeno, pokud vzorek vykazoval výrazně odlišný průběh křivky pevnosti, nebo charakteristiky při porušení (sílu a přetvoření). Vzorek, který nebyl zahrnut do vyhodnocení, je v následujících tabulkách značen červeným písmem a v grafech znázorněn červenou křivkou. Výsledná pevnost je v tabulkách značena tučným písmem.

Obrázek 22 Zkouška pevnosti v tlaku



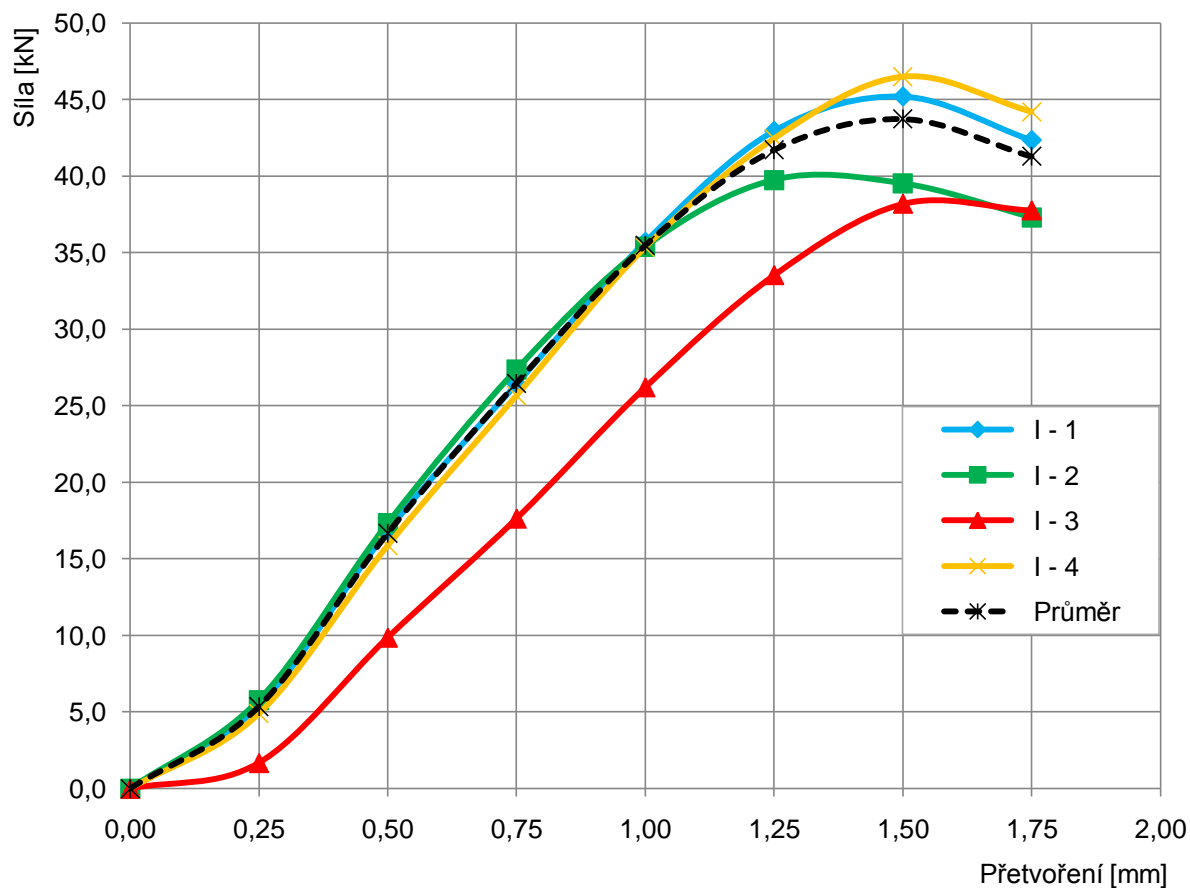
Obrázek 23 Zkouška pevnosti v příčném tahu



Tabulka 13 Zkouška pevnosti v tlaku směsi I

STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU SMĚSI I					
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41					
Přetvoření [mm]	Síla [kN]				
	I – 1	I – 2	I – 3	I – 4	Průměr
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	5,38	5,78	1,68	4,89	5,35
0,50	16,83	17,32	9,86	15,86	16,67
0,75	26,42	27,35	17,63	25,65	26,47
1,00	35,70	35,38	26,20	35,34	35,47
1,25	42,95	39,74	33,52	42,44	41,71
1,50	45,20	39,51	38,18	46,48	43,73
1,75	42,35	37,30	37,75	44,19	41,28
Přetvoření při porušení [mm]	1,49	1,39	1,60	1,56	1,48
Síla při porušení [kN]	45240	40370	38880	46650	44087
Pevnost v tlaku [MPa]	5,760	5,140	4,950	5,940	5,613

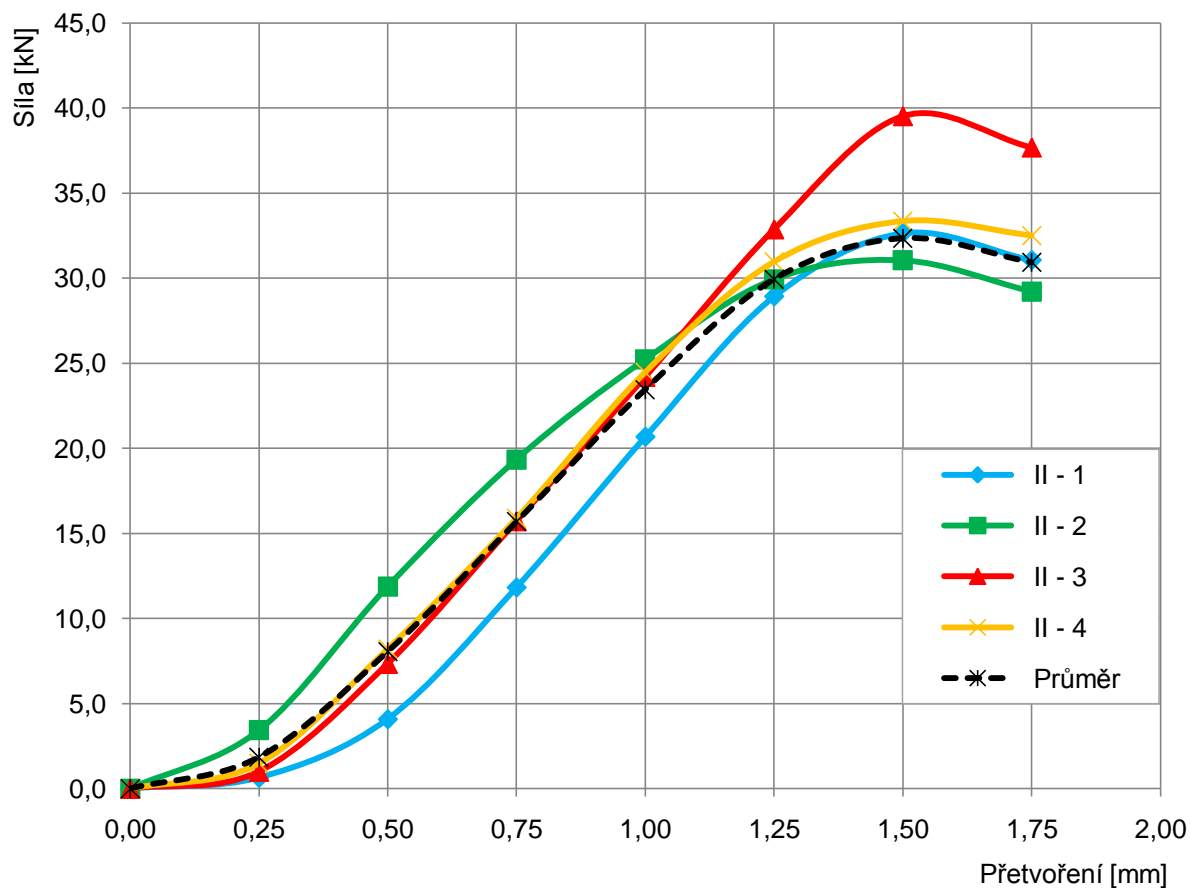
Graf 4 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi I



Tabulka 14 Zkouška pevnosti v tlaku směsi II

STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU SMĚSI II					
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41					
Přetvoření [mm]	Síla [kN]				
	II – 1	II – 2	II – 3	II – 4	Průměr
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	0,64	3,42	1,00	1,48	1,85
0,50	4,08	11,87	7,34	8,20	8,05
0,75	11,82	19,34	15,72	15,87	15,68
1,00	20,67	25,22	24,20	24,46	23,45
1,25	28,92	29,93	32,87	30,95	29,93
1,50	32,64	31,04	39,52	33,34	32,34
1,75	31,05	29,21	37,68	32,50	30,92
Přetvoření při porušení [mm]	1,57	1,43	1,55	1,47	1,49
Síla při porušení [kN]	32810	31160	39820	33360	32443
Pevnost v tlaku [MPa]	4,177	3,967	5,070	4,248	4,131

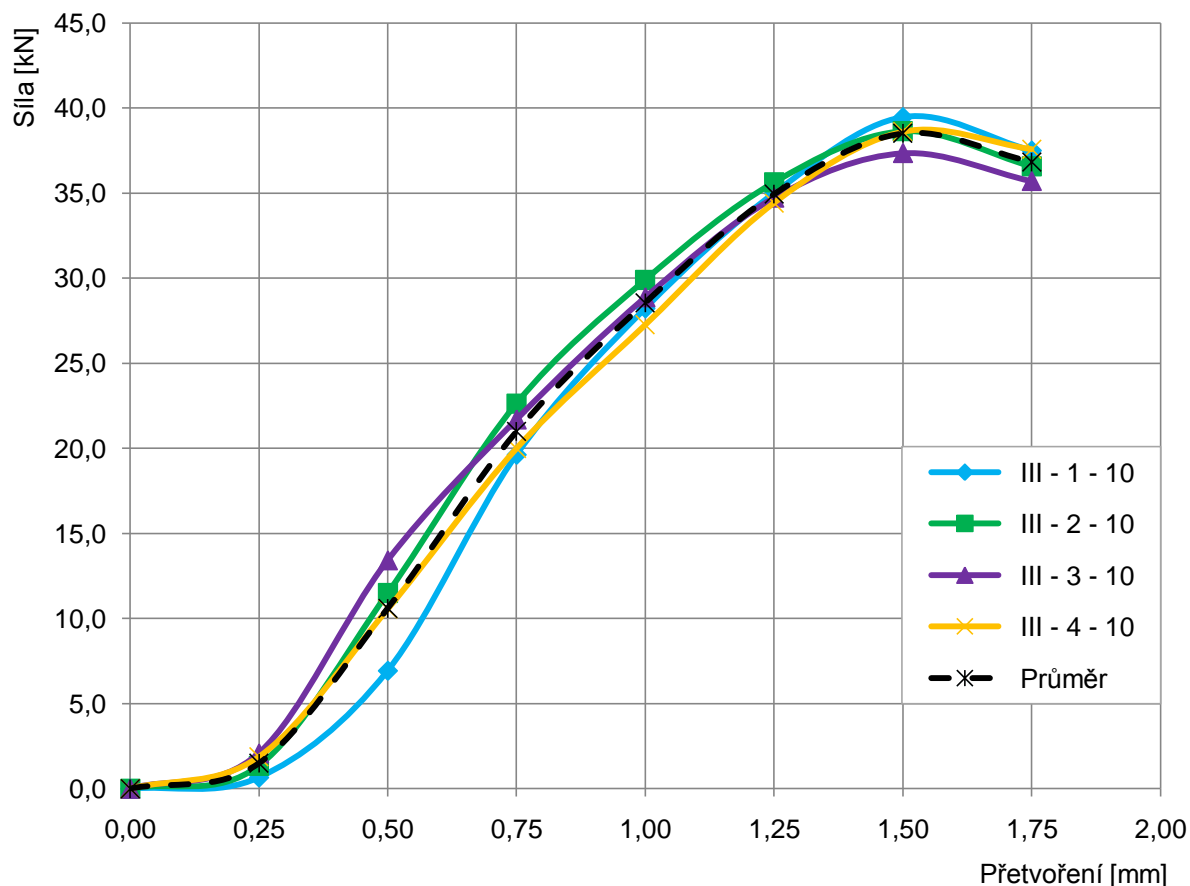
Graf 5 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi II



Tabulka 15 Zkouška pevnosti v tlaku směsi III – 10

STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU SMĚSI III – 10					
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41					
Přetvoření [mm]	Síla [kN]				Průměr
	III – 1 – 10	III – 2 – 10	III – 3 – 10	III – 4 – 10	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	0,66	1,34	2,08	1,86	1,49
0,50	6,93	11,48	13,42	10,54	10,59
0,75	19,62	22,63	21,69	19,98	20,98
1,00	28,22	29,90	28,87	27,25	28,56
1,25	34,98	35,63	34,72	34,42	34,94
1,50	39,45	38,63	37,34	38,60	38,51
1,75	37,49	36,57	35,70	37,58	36,84
Přetvoření při porušení [mm]	1,54	1,52	1,57	1,57	1,55
Síla při porušení [kN]	39560	38670	37510	38820	38640
Pevnost v tlaku [MPa]	5,037	4,924	4,776	4,943	<b>4,920</b>

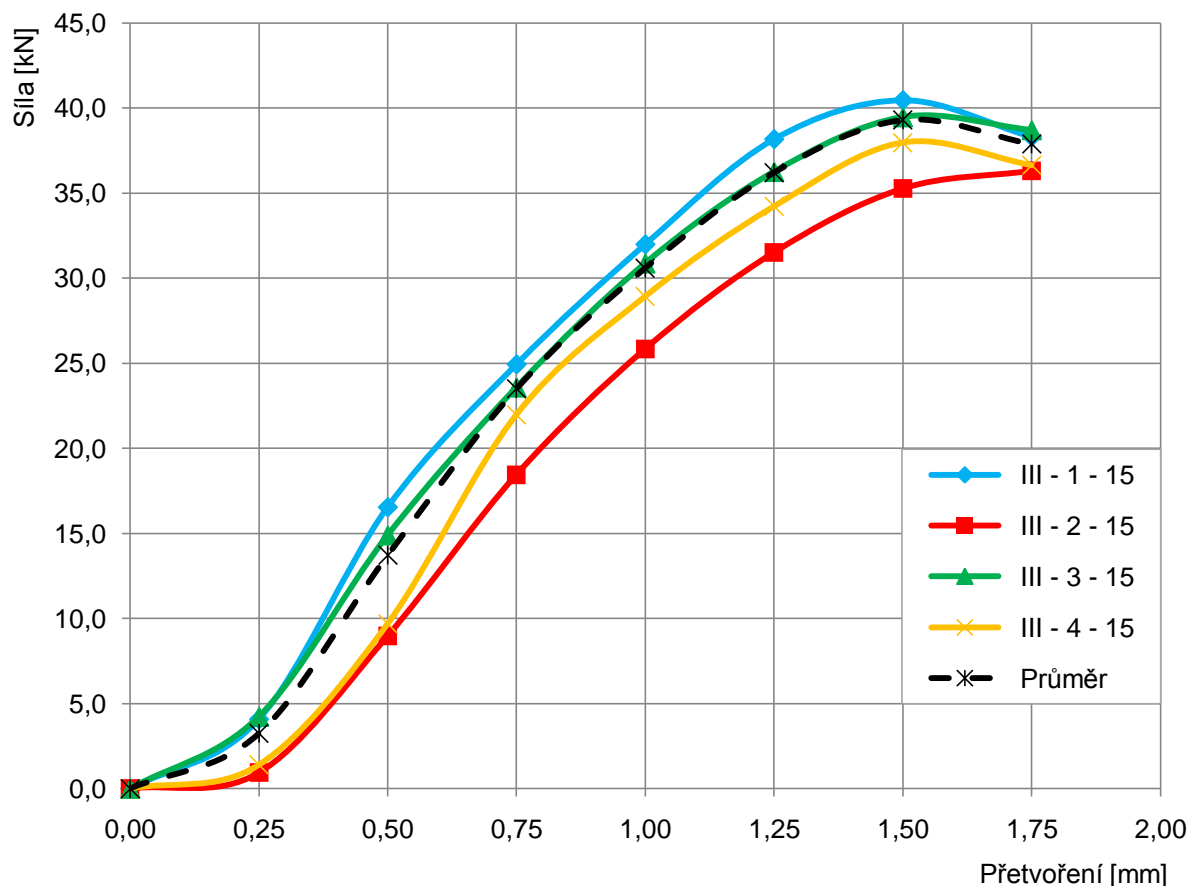
Graf 6 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi III – 10



Tabulka 16 Zkouška pevnosti v tlaku směsi III – 15

STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU SMĚSI III – 15					
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41					
Přetvoření [mm]	Síla [kN]				Průměr
	III – 1 – 15	III – 2 – 15	III – 3 – 15	III – 4 – 15	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	4,08	0,93	4,23	1,39	3,23
0,50	16,54	8,97	14,89	9,68	13,70
0,75	24,93	18,45	23,58	21,97	23,49
1,00	31,98	25,84	30,87	28,92	30,59
1,25	38,16	31,51	36,25	34,21	36,21
1,50	40,45	35,26	39,46	37,96	39,29
1,75	38,30	36,30	38,70	36,63	37,88
Přetvoření při porušení [mm]	1,51	1,69	1,61	1,59	1,57
Síla při porušení [kN]	40450	36510	39820	38380	39550
Pevnost v tlaku [MPa]	5,150	4,649	5,070	4,887	5,036

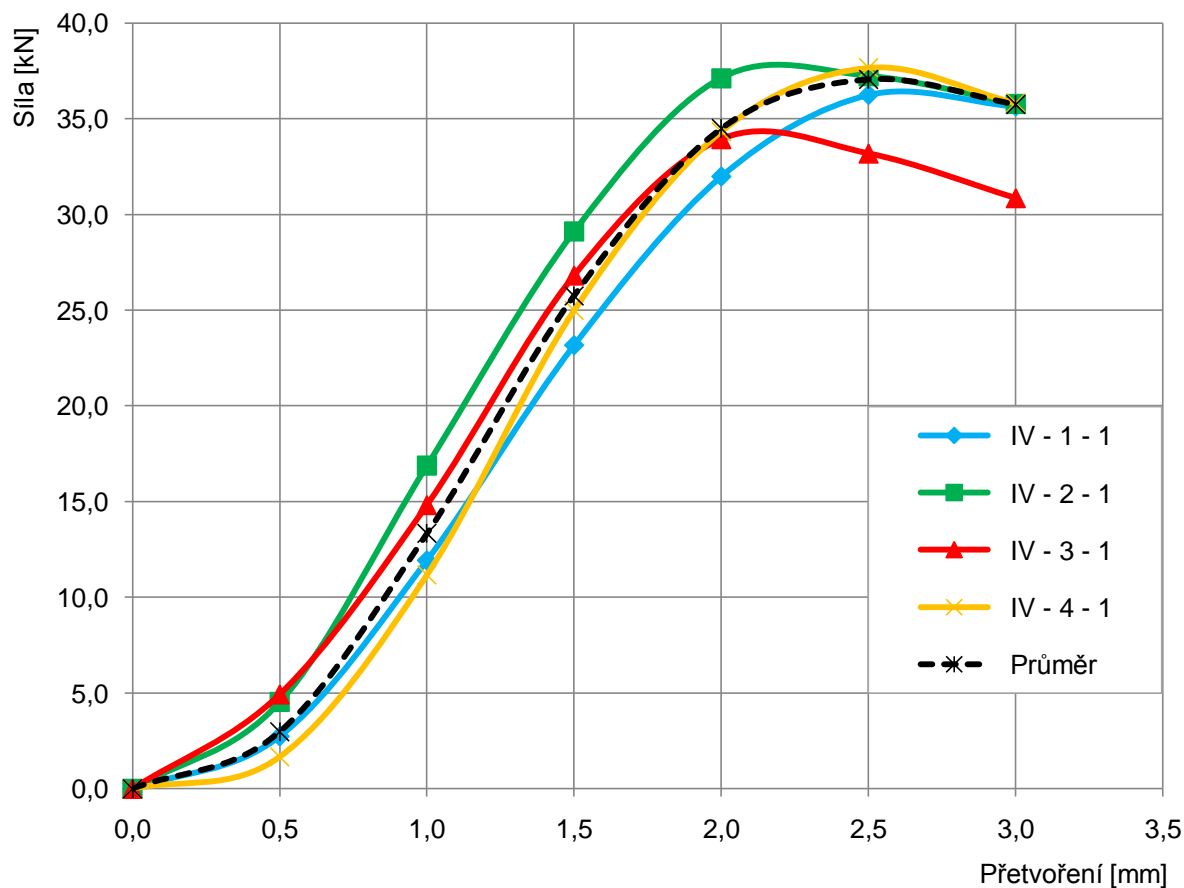
Graf 7 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi III – 15



Tabulka 17 Zkouška pevnosti v tlaku směsi IV – 1

STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU SMĚSI IV – 1					
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41					
Přetvoření [mm]	Síla [kN]				Průměr
	IV – 1 – 1	IV – 2 – 1	IV – 3 – 1	IV – 4 – 1	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	2,74	4,52	4,93	1,67	2,98
1,00	11,93	16,87	14,82	11,17	13,32
1,50	23,17	29,10	26,81	24,98	25,75
2,00	31,98	37,12	33,93	34,33	34,48
2,50	36,24	37,23	33,18	37,66	37,04
3,00	35,64	35,78	30,85	35,82	35,75
Přetvoření při porušení [mm]	2,69	2,19	2,14	2,52	2,47
Síla při porušení [kN]	36520	37620	34470	37670	37270
Pevnost v tlaku [MPa]	4,650	4,790	4,389	4,796	4,745

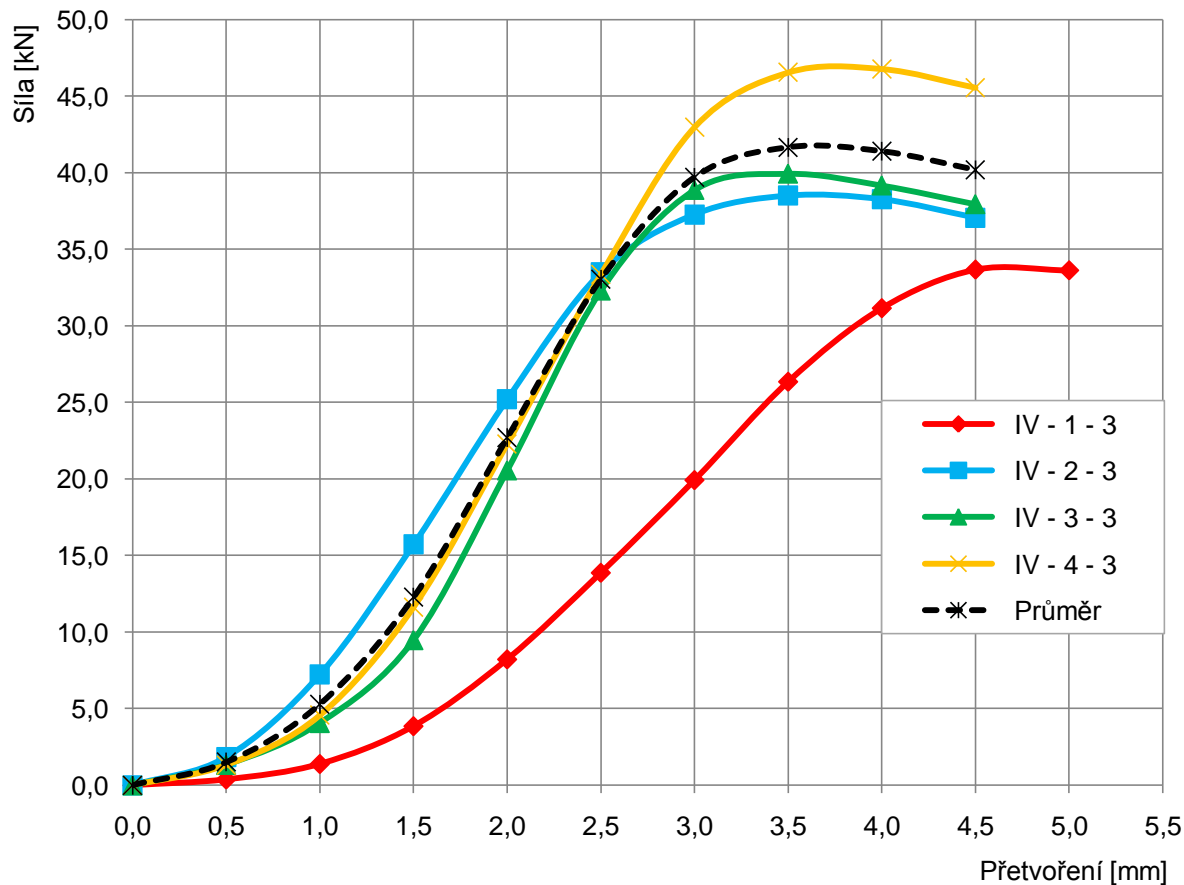
Graf 8 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi IV – 1



Tabulka 18 Zkouška pevnosti v tlaku směsi IV – 3

STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU SMĚSI IV – 3					
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41					
Přetvoření [mm]	Síla [kN]				Průměr
	IV – 1 – 3	IV – 2 – 3	IV – 3 – 3	IV – 4 – 3	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,38	1,84	1,34	1,32	1,50
1,00	1,39	7,23	4,07	4,57	5,29
1,50	3,86	15,72	9,48	11,63	12,28
2,00	8,22	25,20	20,56	22,29	22,68
2,50	13,87	33,48	32,30	33,36	33,05
3,00	19,92	37,27	38,87	42,97	39,70
3,50	26,34	38,50	39,93	46,54	41,66
4,00	31,14	38,26	39,16	46,77	41,40
4,50	33,66	37,06	37,94	45,55	40,18
5,00	33,61	-	-	-	-
Poznámka	Bez porušení	Bez porušení	Bez porušení	Bez porušení	Bez porušení

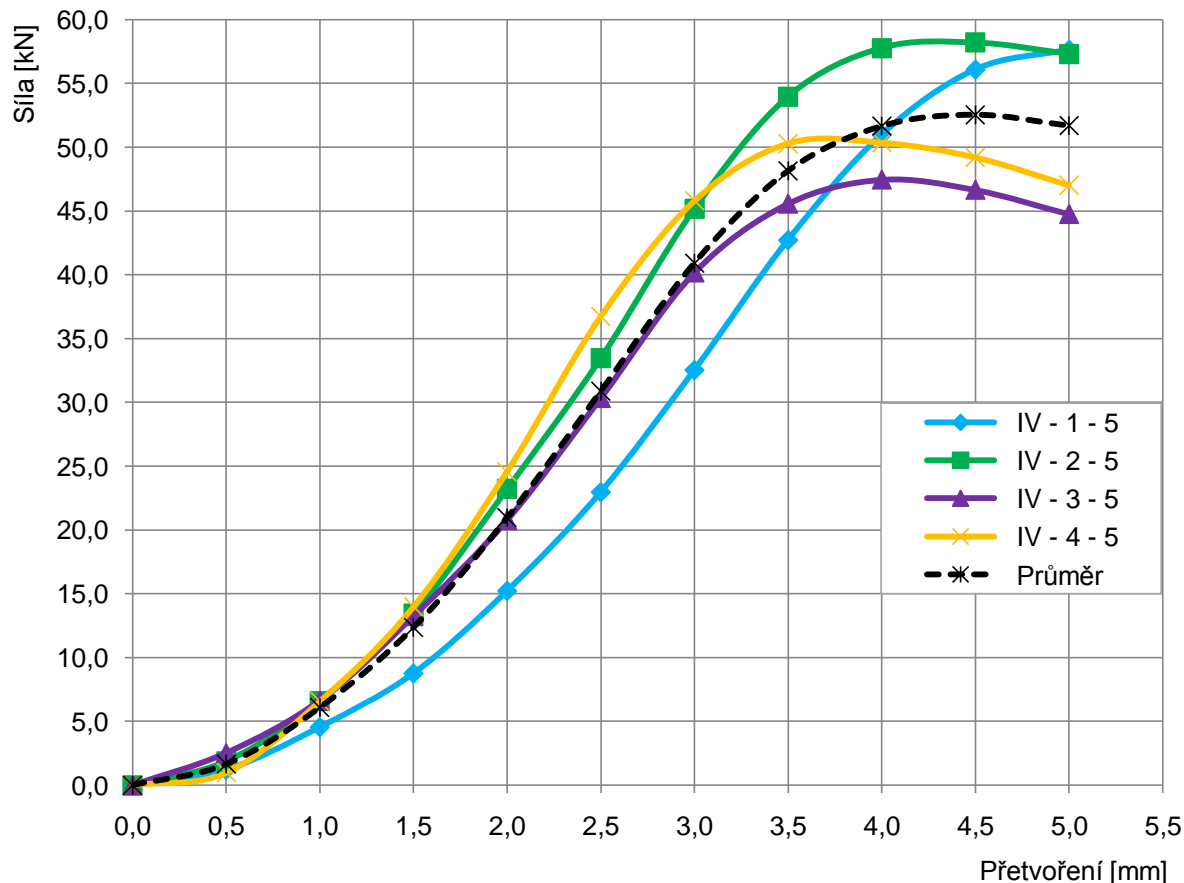
Graf 9 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi IV – 3



Tabulka 19 Zkouška pevnosti v tlaku směsi IV – 5

STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU SMĚSI IV – 5					
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41					
Přetvoření [mm]	Síla [kN]				Průměr
	IV – 1 – 5	IV – 2 – 5	IV – 3 – 5	IV – 4 – 5	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	1,22	1,88	2,53	0,98	1,65
1,00	4,56	6,59	6,65	6,57	6,09
1,50	8,77	13,45	13,26	13,98	12,37
2,00	15,23	23,21	20,78	24,58	20,95
2,50	22,97	33,45	30,34	36,73	30,87
3,00	32,54	45,17	40,17	45,78	40,92
3,50	42,72	53,96	45,56	50,28	48,13
4,00	50,98	57,77	47,45	50,34	51,64
4,50	56,08	58,19	46,65	49,19	52,53
5,00	57,63	57,31	44,75	47,00	51,67
Poznámka	Bez porušení	Bez porušení	Bez porušení	Bez porušení	Bez porušení

Graf 10 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi IV – 5



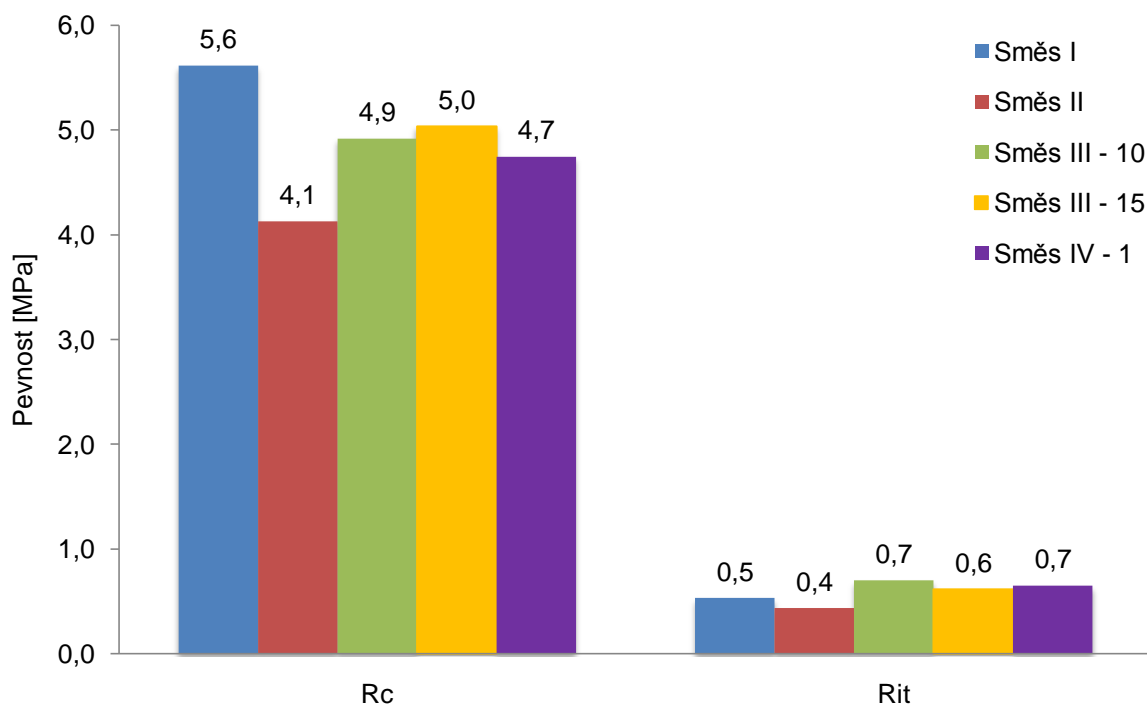
Tabulka 20 Zkouška pevnosti v příčném tahu jednotlivých směsí

STANOVENÍ PEVNOSTI V PŘÍČNÉM TAHU				
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-42				
Směs	Vzorek	Přetvoření [mm]	Síla [N]	Pevnost [MPa]
I	I - 5	0,58	13450	0,856
	I - 6	0,51	7783	0,495
	I - 7	0,54	7839	0,499
	I - 8	0,50	9525	0,606
	Průměr	0,52	8382	<b>0,534</b>
II	II - 5	0,47	5466	0,348
	II - 6	0,35	7775	0,495
	II - 7	0,52	9092	0,579
	II - 8	0,54	5137	0,327
	Průměr	0,47	6868	<b>0,437</b>
III – 10	III - 5 - 10	0,66	9352	0,595
	III - 6 - 10	0,72	13150	0,837
	III - 7 - 10	0,70	12000	0,764
	III - 8 - 10	0,68	9653	0,615
	Průměr	0,69	11039	<b>0,703</b>
III – 15	III - 5 - 15	0,59	7507	0,478
	III - 6 - 15	0,46	10350	0,659
	III - 7 - 15	0,72	13590	0,865
	III - 8 - 15	0,84	7284	0,464
	Průměr	0,65	9683	<b>0,616</b>
IV – 1	IV - 5 - 1	1,35	8569	0,546
	IV - 6 - 1	1,45	8876	0,565
	IV - 7 - 1	1,00	11280	0,718
	IV - 8 - 1	0,96	12150	0,773
	Průměr	1,19	10219	<b>0,651</b>
IV – 3	Bez porušení			
IV – 5	Bez porušení			

Tabulka 21 Výsledné pevnosti jednotlivých směsí

Směs	Pevnost v tlaku			Pevnost v příčném tahu		
	Přetvoření [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Přetvoření [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]
I	1,48	44087	5,6	0,52	8382	0,5
II	1,49	32443	4,1	0,47	6868	0,4
III – 10	1,55	38640	4,9	0,69	11039	0,7
III – 15	1,57	39550	5,0	0,65	9683	0,6
IV – 1	2,47	37270	4,7	1,19	10219	0,7
IV – 3	Bez porušení			Bez porušení		
IV – 5	Bez porušení			Bez porušení		

Graf 11 Výsledné pevnosti jednotlivých směsí



Z výsledků je patrné, že nejvyšší pevnosti v tlaku dosahuje referenční směs I. Přidáním druhotných surovin do jednotlivých směsí došlo ke snížení pevnosti v tlaku. Nejnižší pevnosti podle očekávání dosáhla směs II, kde byl jako pojivo použit Doroport TB25. Tato skutečnost je dána pomalejším nárůstem pevnosti, jak ostatně uvádí samotný výrobce tohoto pojiva.

U směsí, v nichž byla použita PET vlákna v množství 3 a 5%, nedošlo během zkoušky pevnosti v tlaku k porušení vzorků. Vzorky se pod rostoucím zatížením deformovaly a po odtížení se navracely do původní polohy.

V případě pevnosti v příčném tahu došlo přidáním druhotných surovin k nepatrnému nárůstu pevností. Za zmínku stojí výrazné zvýšení hodnoty přetvoření při porušení zkušebních vzorků u směsi IV – 1, kde PET vlákna provázala jednotlivá zrna směšného recyklátu a zabránila rozpadu vzorku (fungovala jako výztuž). Na pevnost směsi ovšem PET vlákna výraznější vliv neměla.

Obrázek 24 Porušení směsi bez rozpadu vzorku



Obrázek 25 Rovina porušení vzorku



Na základě dosažených pevností v tlaku po 28 dnech zrání lze všechny směsi (kromě již zmíněné směsi IV s 3 a 5% PET vláken) zařadit do pevnostní třídy  $C_{3/4}$  dle ČSN EN 14227-1 (Tabulka 1). Podle již zmíněné normy se směsi třídy  $C_{3/4}$  musí podrobit zkoušce odolnosti proti mrazu a vodě.

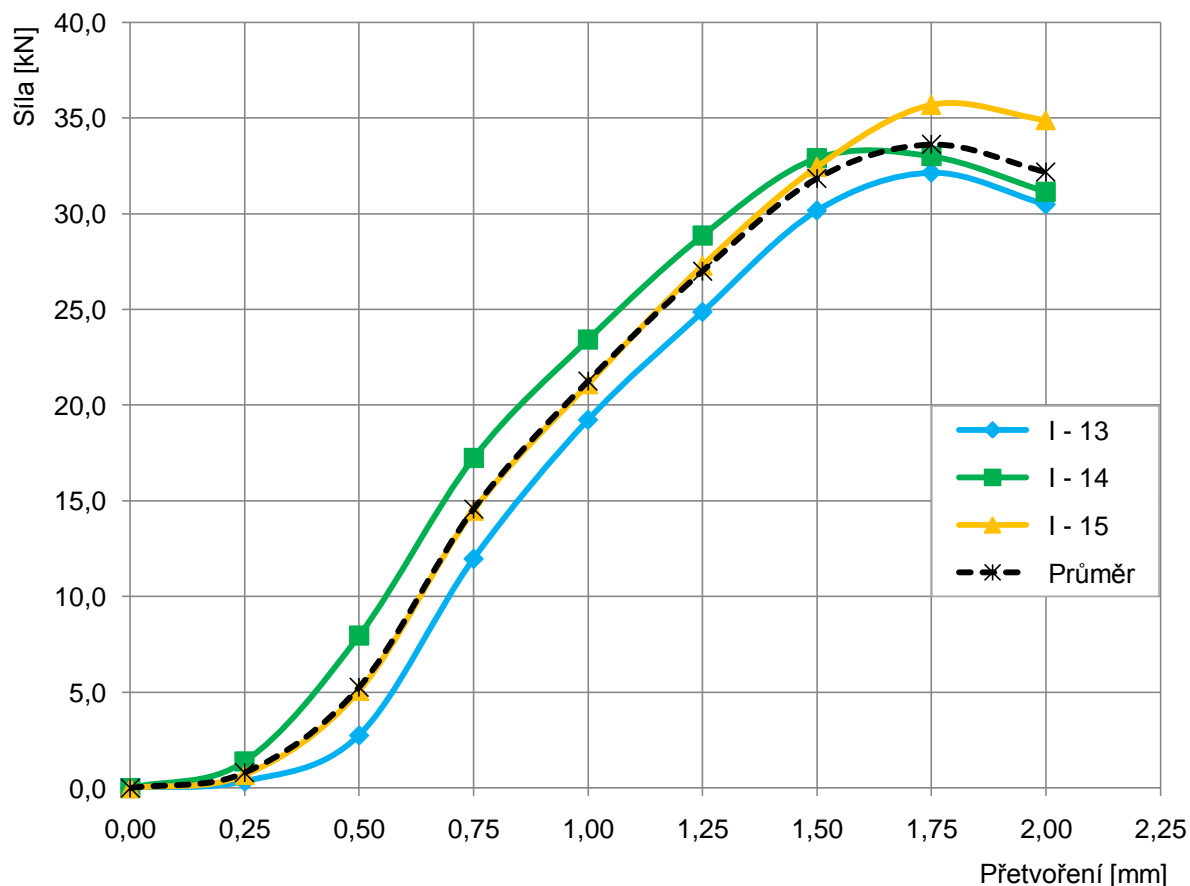
#### 6.4 ODOLNOST SMĚSÍ PROTI MRAZU A VODĚ

Příprava směsí, výroba a rozměry zkušebních těles a způsob zrání byly stejné jako u zkoušek pevnosti v tlaku a příčném tahu. Pro stanovení odolností směsí proti mrazu a vodě byly dle ČSN EN 14227-1 NB vyrobeny tři válcové zkušební vzorky. Po skončení 28 denního zrání byla zkušební tělesa umístěna na vodou nasycenou molitanovou podložku, aby se tělesa mohla kapilárně nasýtit do ustálené hmotnosti. Následně byla tělesa uložena do mrazicího boxu po dobu 6 hodin při teplotě  $-15^{\circ}\text{C}$  (uvažována spodní podkladní vrstva vozovky). Po uplynutí předepsané doby byla tělesa vyjmuta a opět uložena na molitanovou podložku na dobu 18 hodin k umožnění dalšího nasycování. Současně s nasycování probíhá rozmrazování při laboratorní teplotě. Popsaný postup byl dále opakován v celkovém počtu 10 cyklů (podle zvoleného návrhového indexu mrazu). Po skončení posledního cyklu byly zkušební tělesa podrobeny zkoušce pevnosti v tlaku dle ČSN EN 13286-41. Pro směsi třídy  $R_{ck} C_{3/4}$  se provádí zkouška odolnosti proti mrazu a vodě, kde výsledné hodnoty nesmí být nižší než 85 % hodnoty pevnosti v tlaku. [9]

Tabulka 22 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi I

STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI MRAZU A VODĚ SMĚSI I				
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41				
Přetvoření [mm]	Síla [kN]			
	I – 13	I – 14	I – 15	Průměr
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	0,34	1,38	0,69	0,80
0,50	2,75	7,95	5,08	5,26
0,75	11,97	17,23	14,49	14,56
1,00	19,23	23,42	21,10	21,25
1,25	24,86	28,86	27,29	27,00
1,50	30,16	32,90	32,45	31,84
1,75	32,14	33,00	35,69	33,61
2,00	30,48	31,15	34,89	32,17
Přetvoření při porušení [mm]	1,79	1,58	1,84	1,74
Síla při porušení [kN]	32170	33190	35870	33743
Pevnost v tlaku [MPa]	4,096	4,226	4,567	4,296
Pevnost vztažená k $R_c$	73%	75%	81%	77%
Požadavek 85% z $R_c$	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO

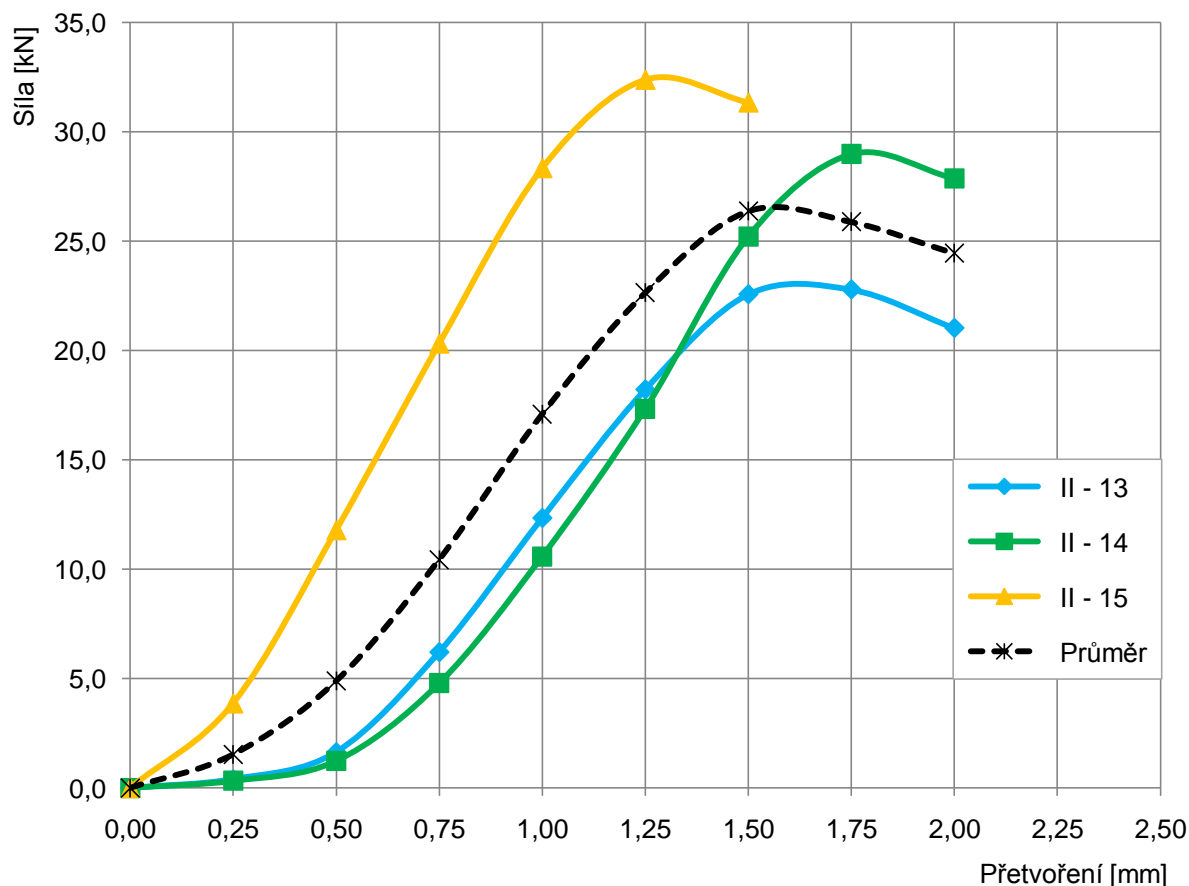
Graf 12 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi I



Tabulka 23 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi II

STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI MRAZU A VODĚ SMĚSI II				
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41				
Přetvoření [mm]	Síla [kN]			
	II – 13	II – 14	II – 15	Průměr
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	0,40	0,32	3,87	1,53
0,50	1,64	1,23	11,79	4,89
0,75	6,21	4,78	20,32	10,44
1,00	12,34	10,58	28,34	17,09
1,25	18,21	17,32	32,38	22,64
1,50	22,56	25,20	31,34	26,37
1,75	22,78	28,97	-	25,88
2,00	21,02	27,86	-	24,44
Přetvoření při porušení [mm]	1,63	1,82	1,31	1,59
Síla při porušení [kN]	23340	29180	32480	28333
Pevnost v tlaku [MPa]	2,972	3,715	4,135	3,608
Pevnost vztažená k $R_c$	72%	90%	100%	87%
Požadavek 85% z $R_c$	NESPLNĚNO	SPLNĚNO	SPLNĚNO	SPLNĚNO

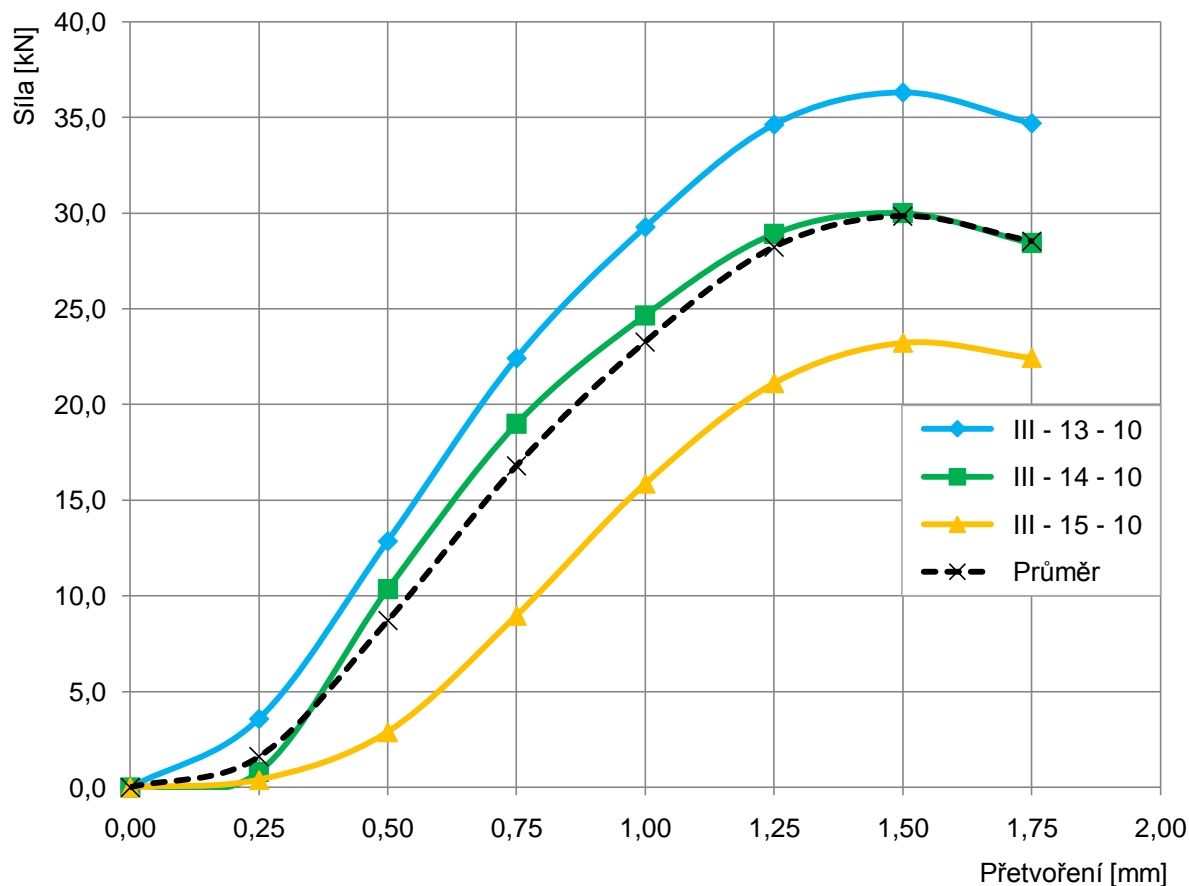
Graf 13 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi II



Tabulka 24 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi III – 10

STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI MRAZU A VODĚ SMĚSI III – 10				
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41				
Přetvoření [mm]	Síla [kN]			
	III – 13 – 10	III – 14 – 10	III – 15 – 10	Průměr
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	3,58	0,80	0,39	1,59
0,50	12,86	10,34	2,89	8,70
0,75	22,42	18,98	8,97	16,79
1,00	29,27	24,66	15,87	23,27
1,25	34,62	28,92	21,12	28,22
1,50	36,30	30,00	23,23	29,84
1,75	34,69	28,43	22,44	28,52
Přetvoření při porušení [mm]	1,43	1,44	1,56	1,48
Síla při porušení [kN]	36660	30070	23320	30017
Pevnost v tlaku [MPa]	4,668	3,829	2,969	3,822
Pevnost vztažená k $R_c$	95%	78%	60%	78%
Požadavek 85% z $R_c$	SPLNĚNO	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO

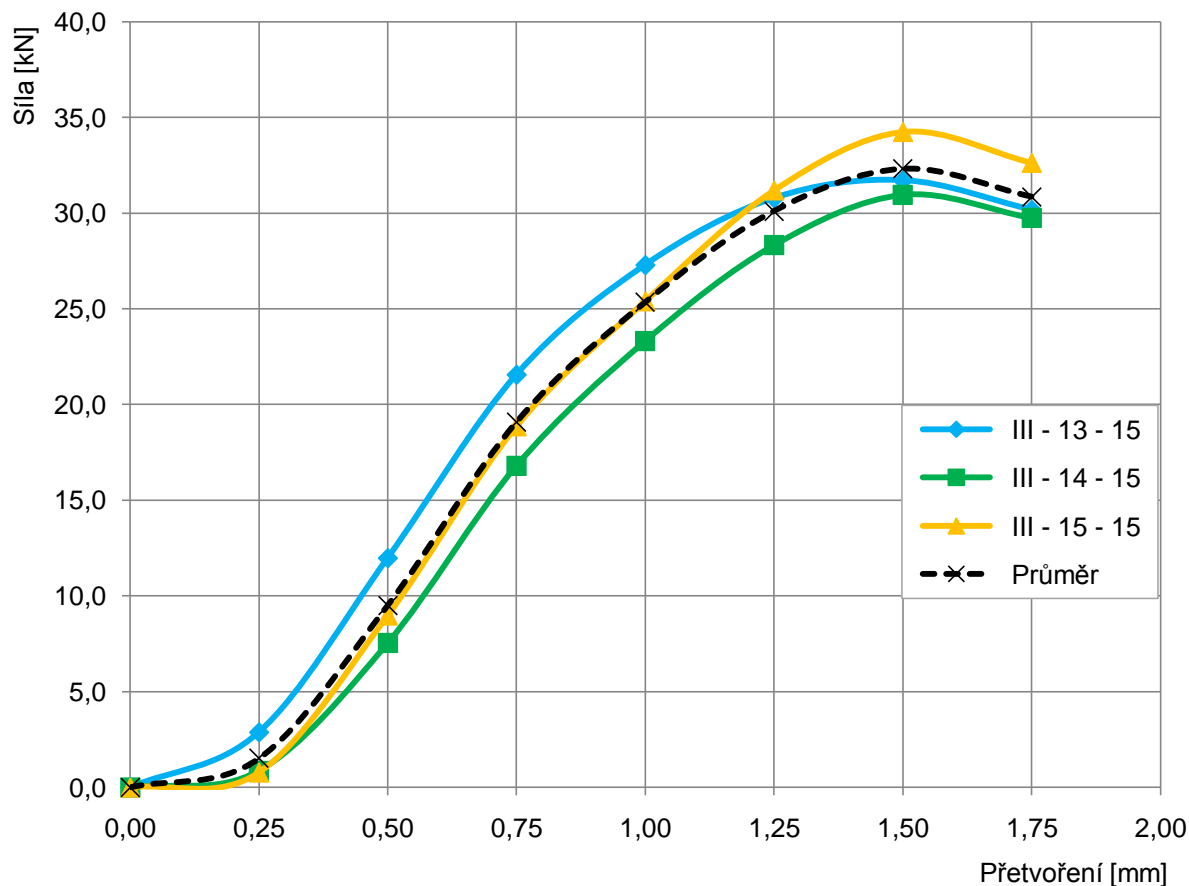
Graf 14 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi III – 10



Tabulka 25 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi III – 15

STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI MRAZU A VODĚ SMĚSI III – 15				
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41				
Přetvoření [mm]	Síla [kN]			
	III – 13 – 15	III – 14 – 15	III – 15 – 15	Průměr
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	2,88	0,86	0,78	1,51
0,50	11,98	7,53	8,98	9,50
0,75	21,56	16,80	18,86	19,07
1,00	27,29	23,32	25,39	25,33
1,25	30,78	28,33	31,18	30,10
1,50	31,71	30,96	34,23	32,30
1,75	30,17	29,75	32,62	30,85
Přetvoření při porušení [mm]	1,43	1,53	1,55	1,50
Síla při porušení [kN]	31870	30980	34330	32393
Pevnost v tlaku [MPa]	4,058	3,944	4,371	4,124
Pevnost vztažená k $R_c$	81%	78%	87%	82%
Požadavek 85% z $R_c$	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO	SPLNĚNO	NESPLNĚNO

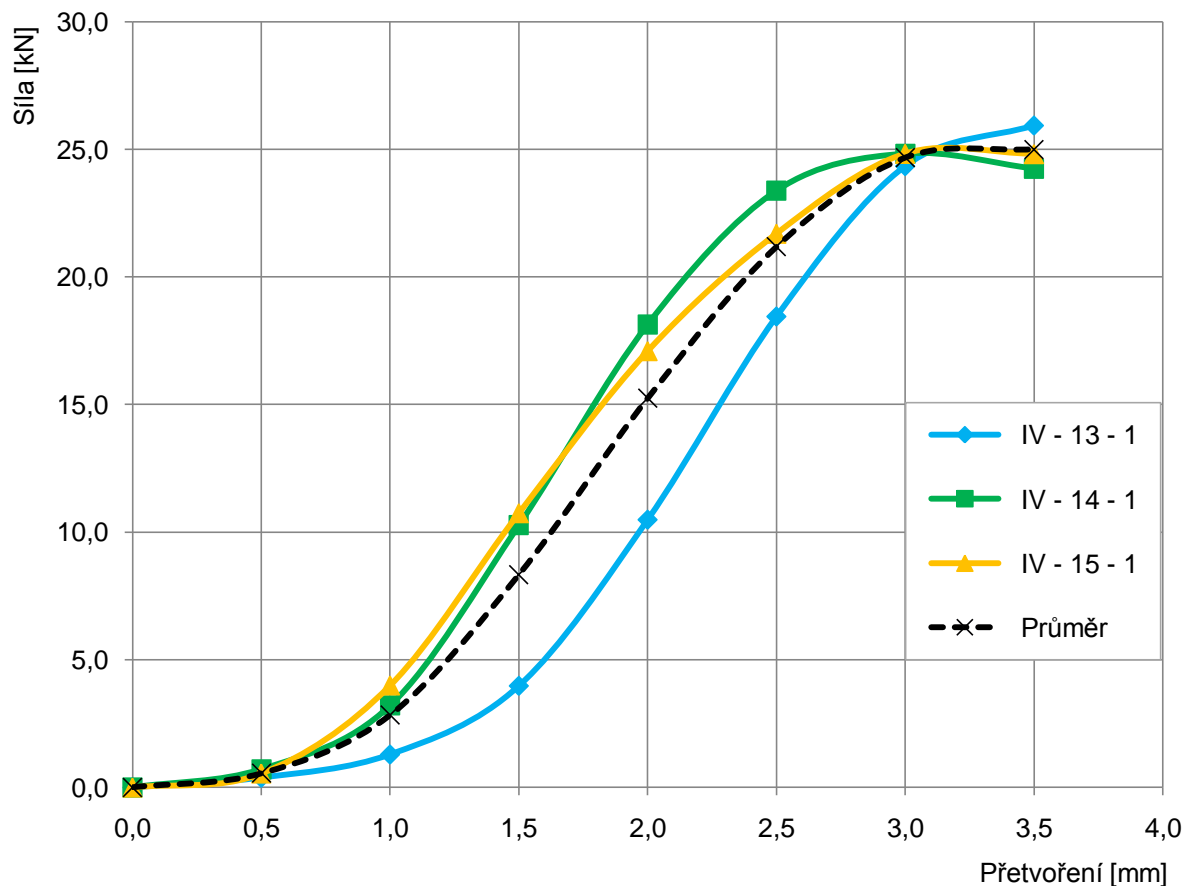
Graf 15 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi III – 15



Tabulka 26 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi IV – 1

STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI MRAZU A VODĚ SMĚSI IV – 1				
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41				
Přetvoření [mm]	Síla [kN]			
	IV – 13 – 1	IV – 14 – 1	IV – 15 – 1	Průměr
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,38	0,71	0,55	0,55
1,00	1,29	3,21	4,00	2,83
1,50	3,98	10,28	10,75	8,34
2,00	10,49	18,14	17,10	15,24
2,50	18,45	23,38	21,70	21,18
3,00	24,34	24,83	24,83	24,67
3,50	25,93	24,24	24,82	25,00
Přetvoření při porušení [mm]	3,41	3,13	3,30	3,28
Síla při porušení [kN]	26020	24860	25800	25560
Pevnost v tlaku [MPa]	3,313	3,165	3,285	3,254
Pevnost vztažená k $R_c$	70%	67%	69%	69%
Požadavek 85% z $R_c$	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO	NESPLNĚNO

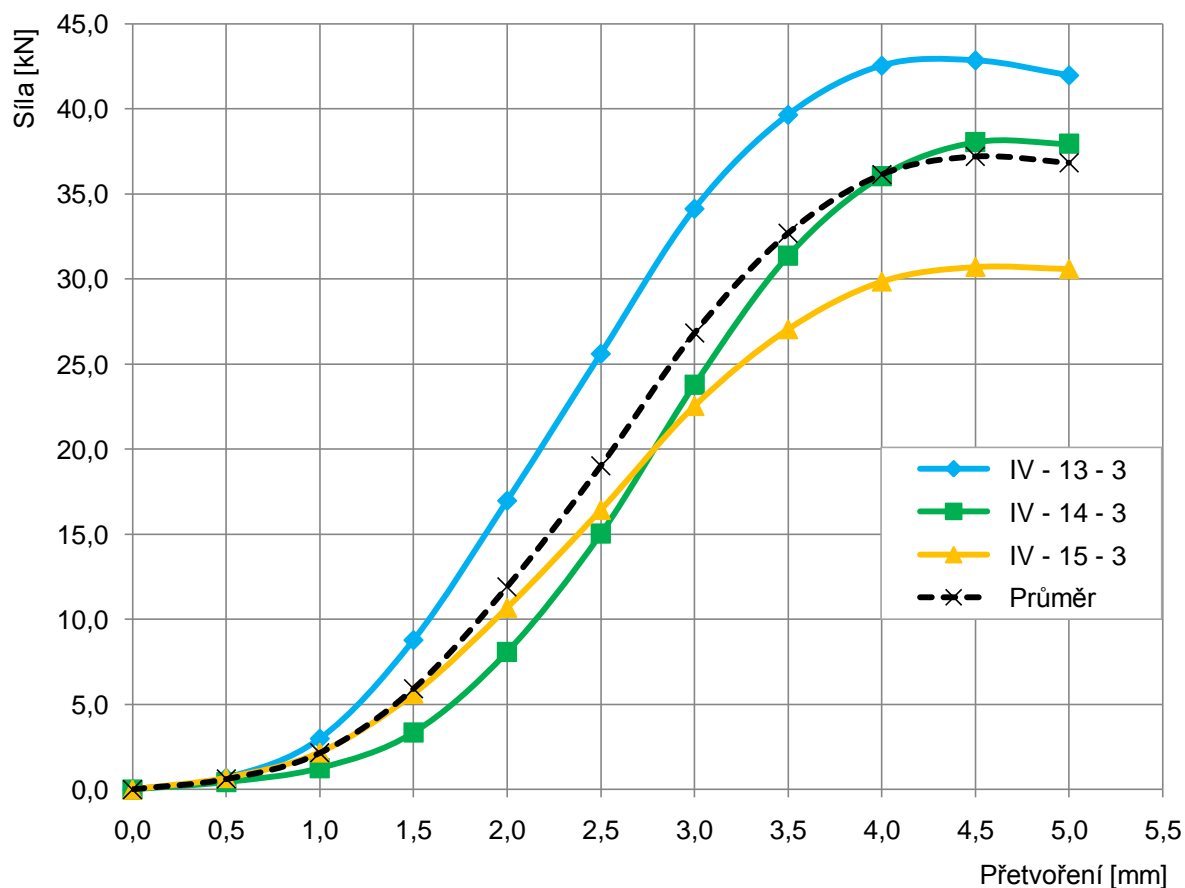
Graf 16 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi IV – 1



Tabulka 27 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi IV – 3

STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI MRAZU A VODĚ SMĚSI IV – 3				
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41				
Přetvoření [mm]	Síla [kN]			
	IV – 13 – 3	IV – 14 – 3	IV – 15 – 3	Průměr
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,69	0,43	0,68	0,60
1,00	2,99	1,25	2,18	2,14
1,50	8,78	3,34	5,62	5,91
2,00	16,97	8,08	10,68	11,91
2,50	25,60	15,02	16,43	19,02
3,00	34,12	23,78	22,54	26,81
3,50	39,64	31,36	27,05	32,68
4,00	42,53	36,04	29,85	36,14
4,50	42,84	38,04	30,71	37,20
5,00	41,96	37,94	30,59	36,83
Poznámka	Bez porušení	Bez porušení	Bez porušení	Bez porušení

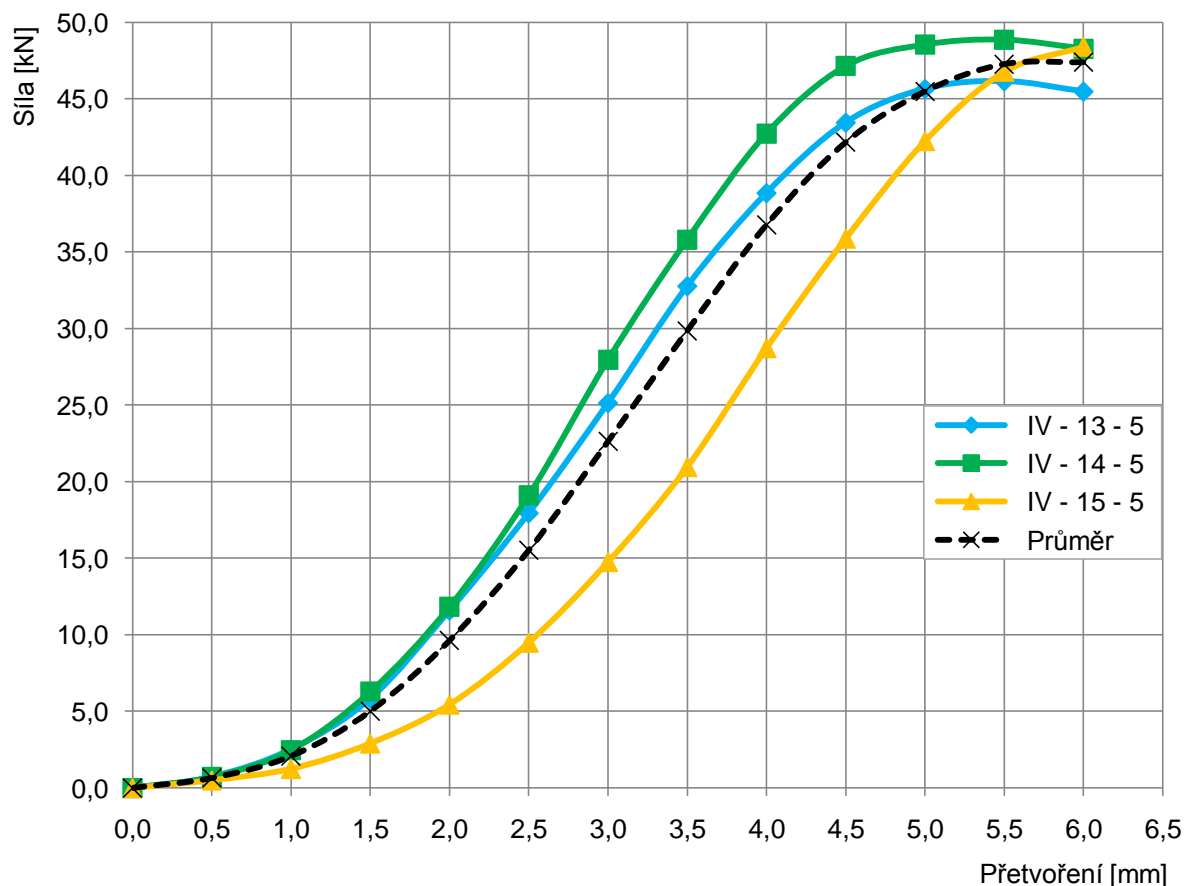
Graf 17 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi IV – 3



Tabulka 28 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi IV – 5

STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI MRAZU A VODĚ SMĚSI IV – 5				
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-41				
Přetvoření [mm]	Síla [kN]			
	IV – 13 – 5	IV – 14 – 5	IV – 15 – 5	Průměr
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,73	0,71	0,50	0,65
1,00	2,53	2,46	1,25	2,08
1,50	5,84	6,28	2,91	5,01
2,00	11,59	11,83	5,45	9,62
2,50	17,95	19,11	9,49	15,52
3,00	25,14	27,96	14,76	22,62
3,50	32,77	35,81	20,96	29,85
4,00	38,85	42,73	28,72	36,77
4,50	43,45	47,14	35,87	42,15
5,00	45,65	48,54	42,24	45,48
5,50	46,15	48,86	46,77	47,26
6,00	45,48	48,28	48,40	47,39
Poznámka	Bez porušení	Bez porušení	Bez porušení	Bez porušení

Graf 18 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi IV – 5



Tabulka 29 Odolnost proti mrazu a vodě jednotlivých směsí

Směs	Pevnost v tlaku po 28 dnech zrání			Pevnost v tlaku po 28 dnech zrání a 10 zmrazovacích cyklech		
	Přetvoření [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Přetvoření [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]
I	1,48	44087	5,6	1,74	33743	4,3
II	1,49	32443	4,1	1,59	28333	3,6
III – 10	1,55	38640	4,9	1,48	30017	3,8
III – 15	1,57	39550	5,0	1,50	32393	4,1
IV – 1	2,47	37270	4,7	3,28	25560	3,3
IV – 3	Bez porušení			Bez porušení		
IV – 5	Bez porušení			Bez porušení		

Norma ČSN EN 14227-1 požaduje, aby výsledné hodnoty nebyly nižší než 85 % hodnoty pevnosti v tlaku po 28 dnech zrání při stálé vlhkosti. Tento požadavek byl splněn pouze v jediném případě a to u směsi II v hodnotě 87%. Doroport TB25 vykázal větší odolnost proti mrazu a vodě než cement CEM III/A 32,5 R.

Směs I dosahovala hodnoty 77%, směs III – 10 hodnoty 78%, směs III – 15 hodnoty 82% a směs IV – 1 hodnoty 69%.

Nesplnění kritéria 85% pevnosti v tlaku přisuzují hlavně použitému směsnému recyklátu. Obsahoval velké množství cihelných stěpů, které jsou značně nasákavé. U vodou nasycených zkušebních vzorků došlo vlivem mrazových cyklů k porušení struktury, která se projevila nižší dosaženou pevností.

## 6.5 STANOVENÍ HODNOT CBR A IBI

Stanovení hodnot CBR a IBI hydraulicky stmelených směsí bylo provedeno v souladu s ČSN EN 13286-47. Pro každou směs byl připraven zkušební vzorek, který byl hutněn při optimální vlhkosti ručním rázovým zhutňovačem do Proctorovy formy B (válcová forma o průměru 150 mm a výšce 120 mm). K hutnění byla použita modifikovaná Proctorova zhutňovací práce, kdy pěch o hmotnosti 4,5 kg dopadá z výšky 457 mm na každou z pěti vrstev vždy 56 úderů.

Obrázek 26 Ruční zhutňovač s formou typu B



Obrázek 27 Průběh zkoušky IBI



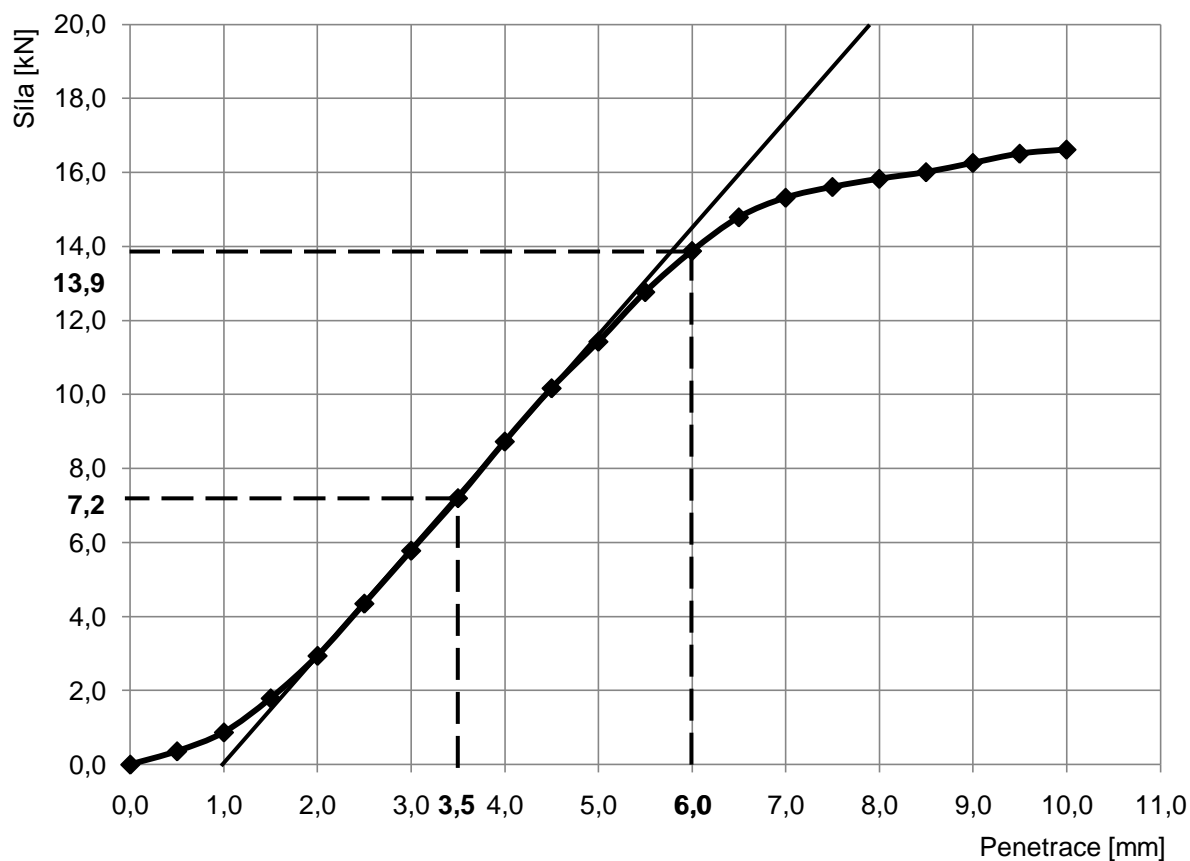
Bezprostředně po dokončení vzorku byla provedena zkouška IBI dle zkušebního postupu uvedeného v ČSN EN 13286-47. Do zkušebního tělesa směsi uložené ve formě se předepsanou rychlostí zatlačoval válcový píst až do penetrace nepřesahující 10 mm. Zaznamenávaly se hodnoty sil při penetracích s krokem po 0,5 mm.

Po zkoušce IBI byl vzniklý vtisk vyplněn materiálem a forma se zhutněnou směsí byla obrácena (vtisk po válcovém pístu byl vespod). Forma se vzorkem byla uložena na dobu tří dní do komory se stálou vlhkostí. Po uplynutí této doby se forma se zkušebním tělesem ponořila do nádoby s vodou na dobu čtyř dní a to tak, aby byl umožněn volný přístup vody k horní i dolní části zkušebního tělesa. Během sycení se u stmelených směsí nepředpokládaly objemové změny, proto nebylo během sycení měřeno vertikální bobtnání směsí.

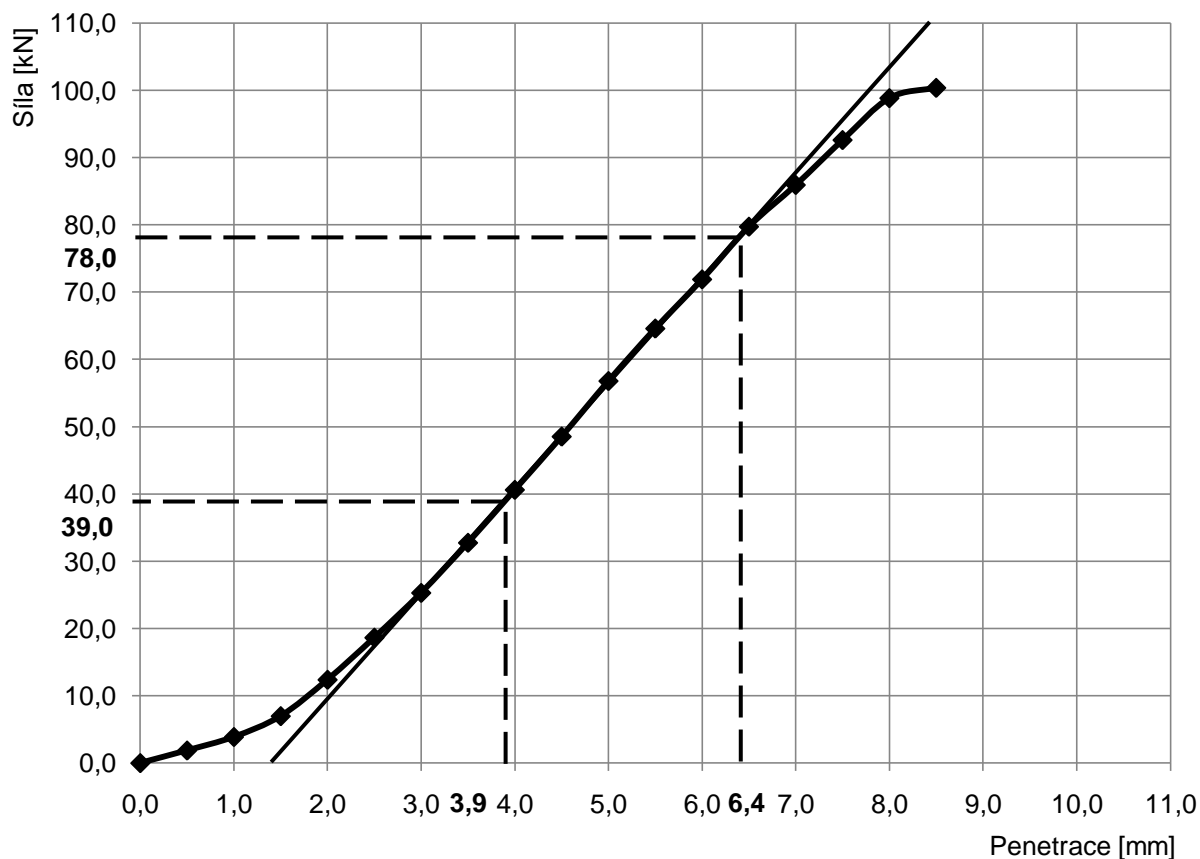
Po dokončení sycení vodou se forma se zkušebním tělesem vyjmula z nádoby a zkušební těleso se nechalo odkapat po dobu 15 minut. Další postup zkoušky CBR byl shodný se zkouškou IBI s tím rozdílem, že napovrch směsi byly před dosednutím válcového pístu uloženy přitěžovací prstence o celkové hmotnosti 4,5 kg.

Hodnoty sil v závislosti na penetraci byly vyneseny do grafů a u vzniklých křivek byly provedeny korekce postupem popsáním v ČSN EN 13286-47. Výsledky měření jednotlivých směsí jsou zobrazeny v níže uvedených grafech.

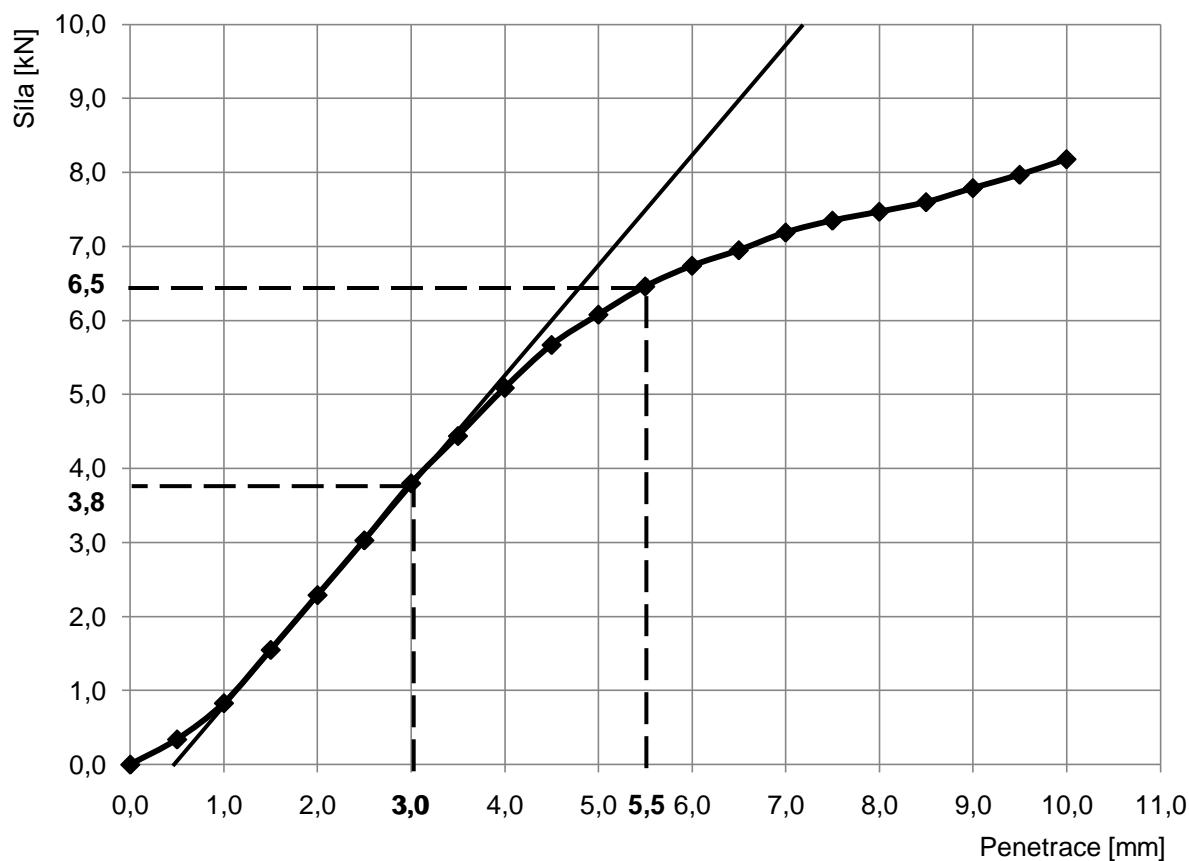
Graf 19 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi I



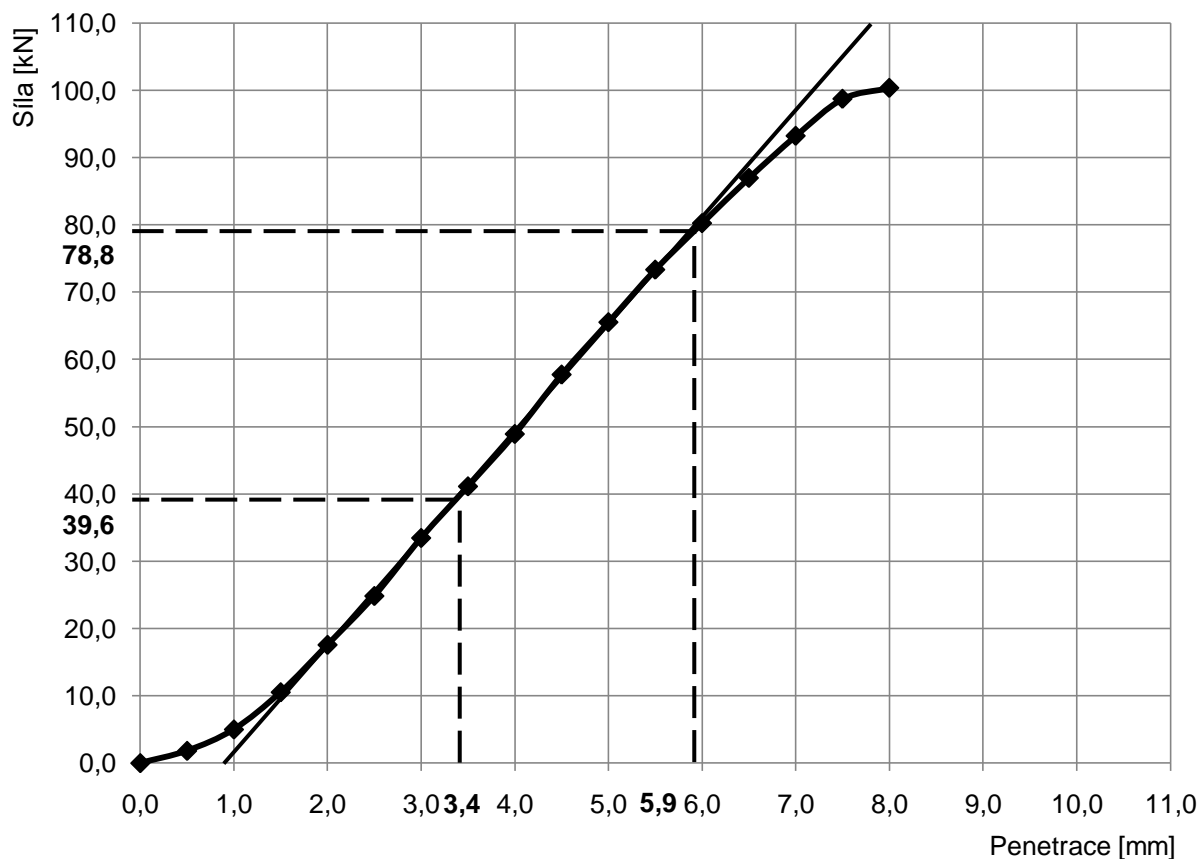
Graf 20 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi I



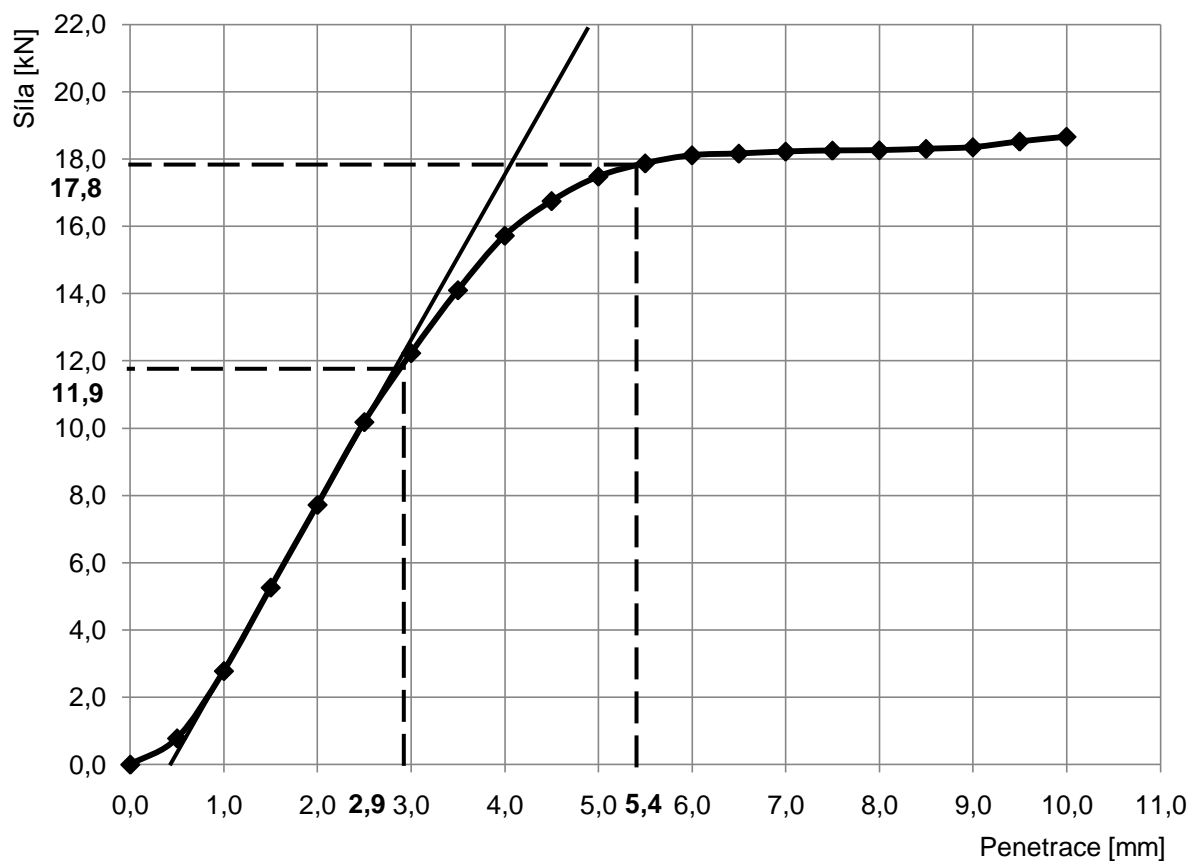
Graf 21 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi II



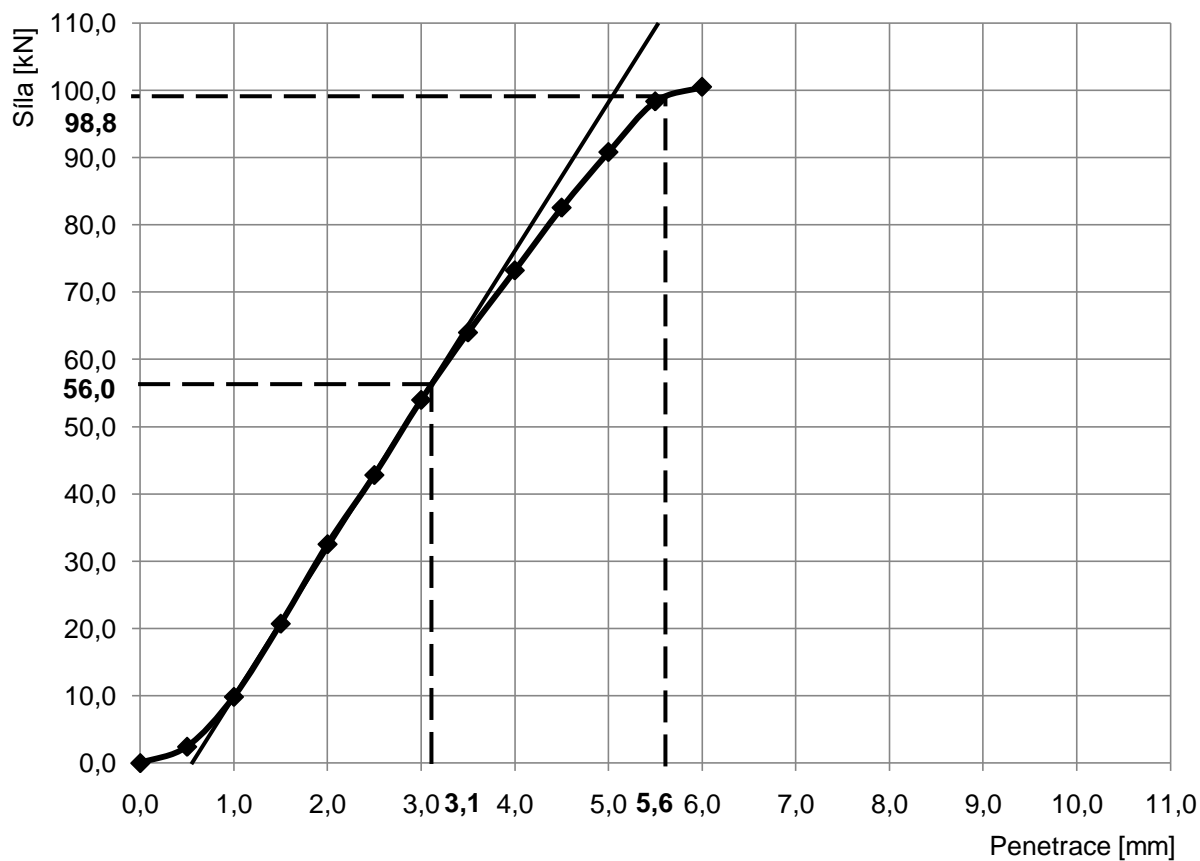
Graf 22 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi II



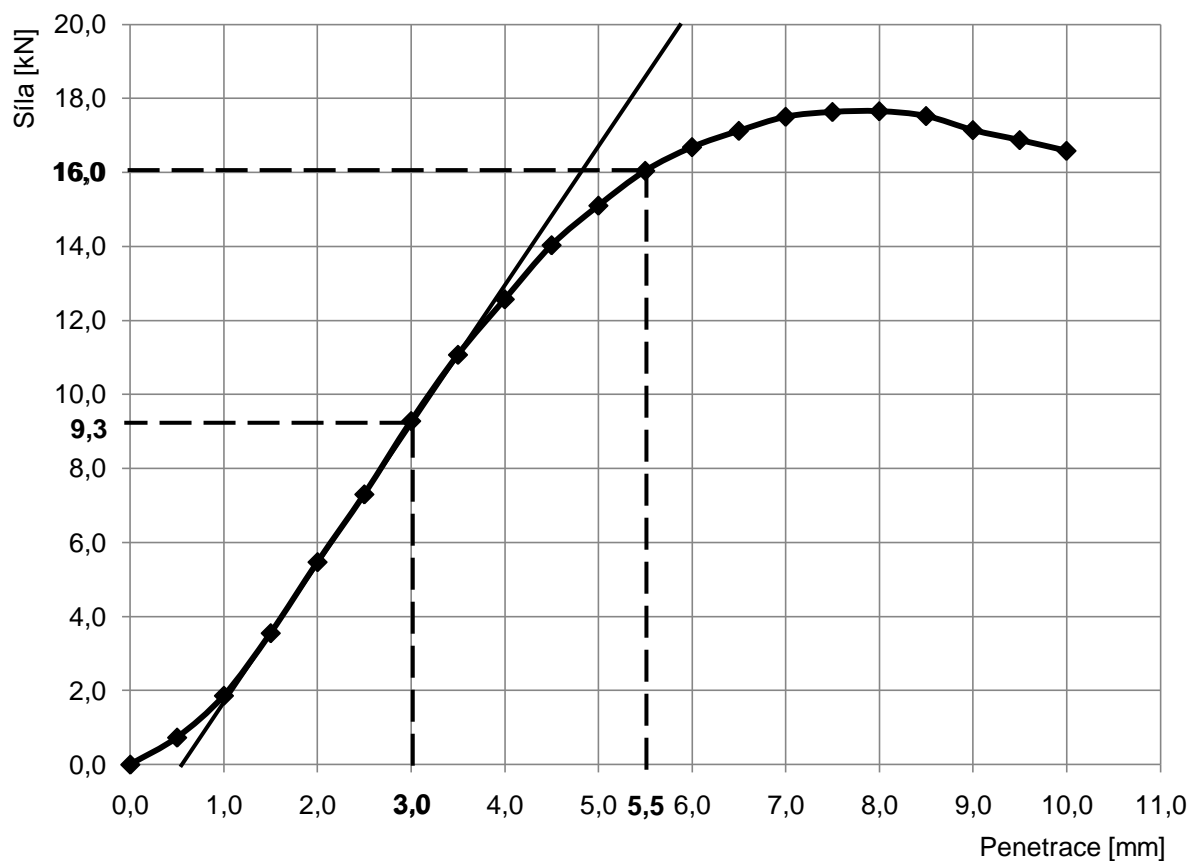
Graf 23 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi III – 10



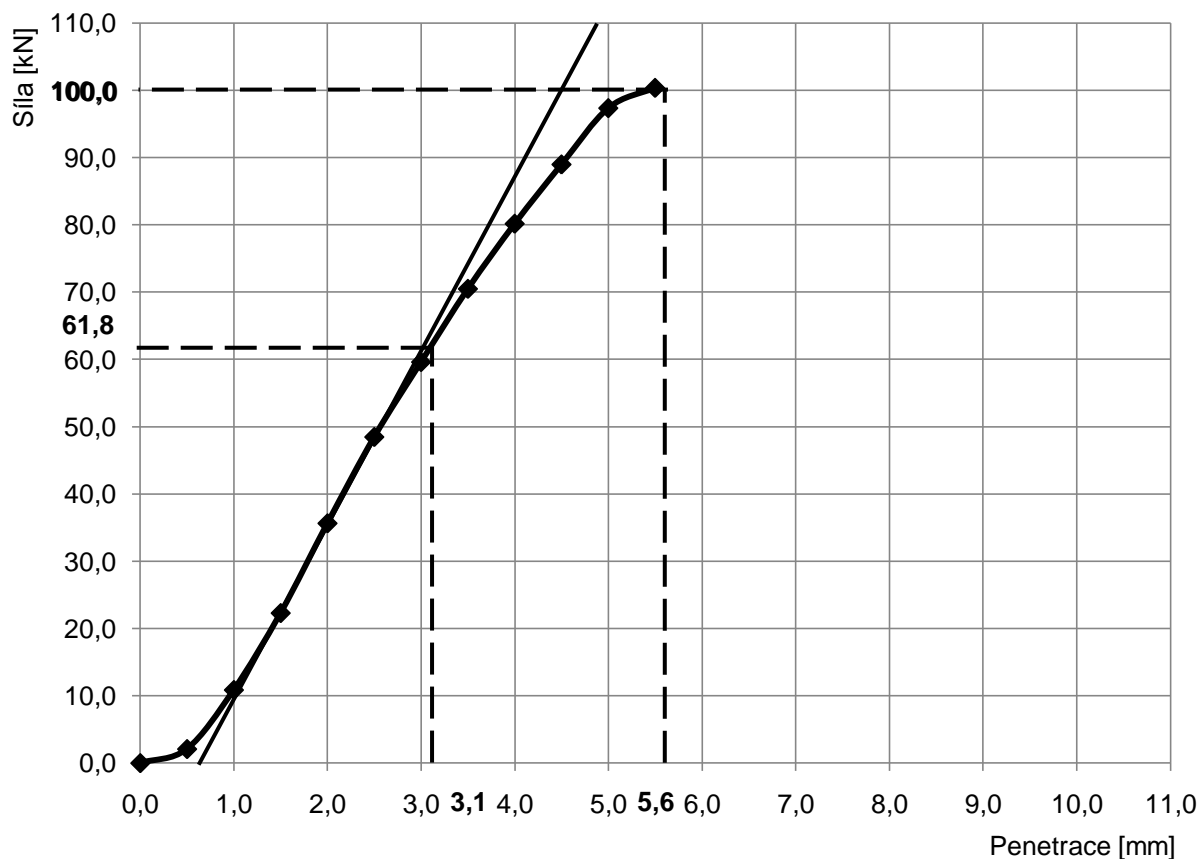
Graf 24 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi III – 10



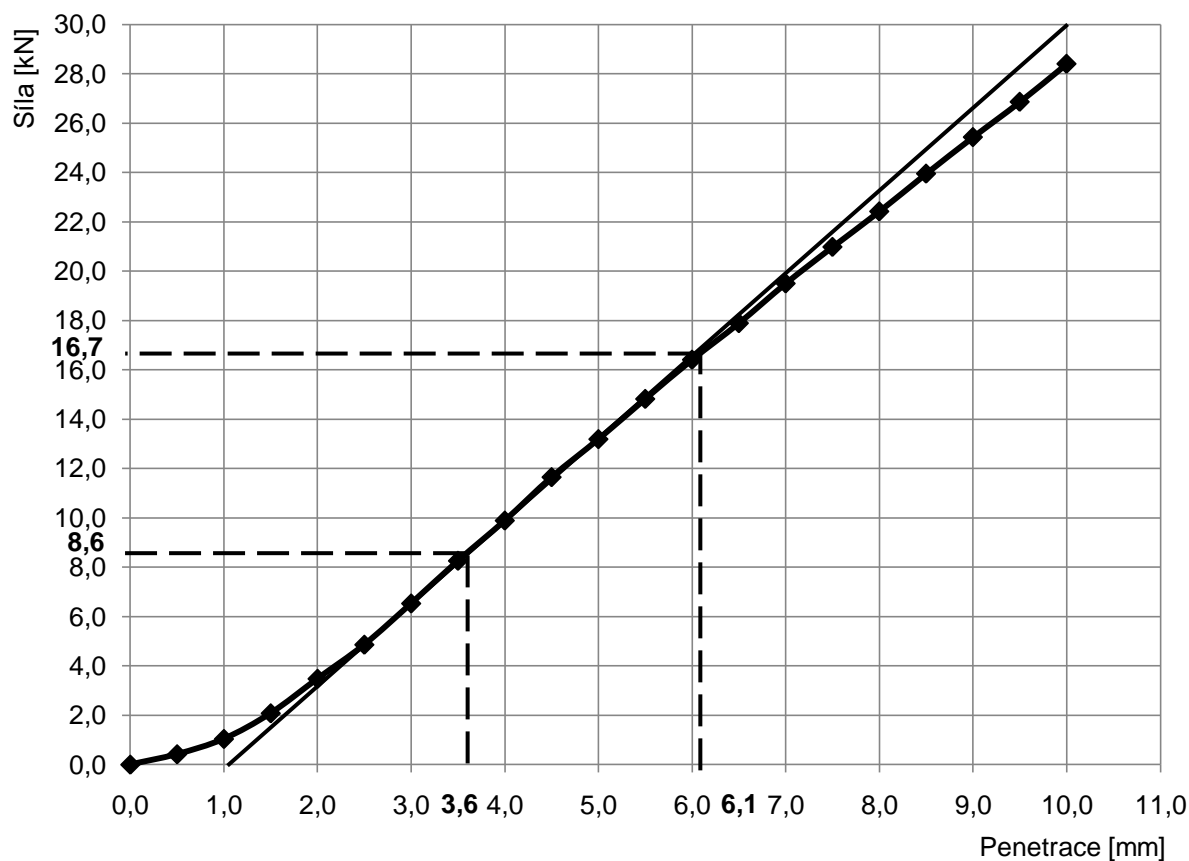
Graf 25 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi III – 15



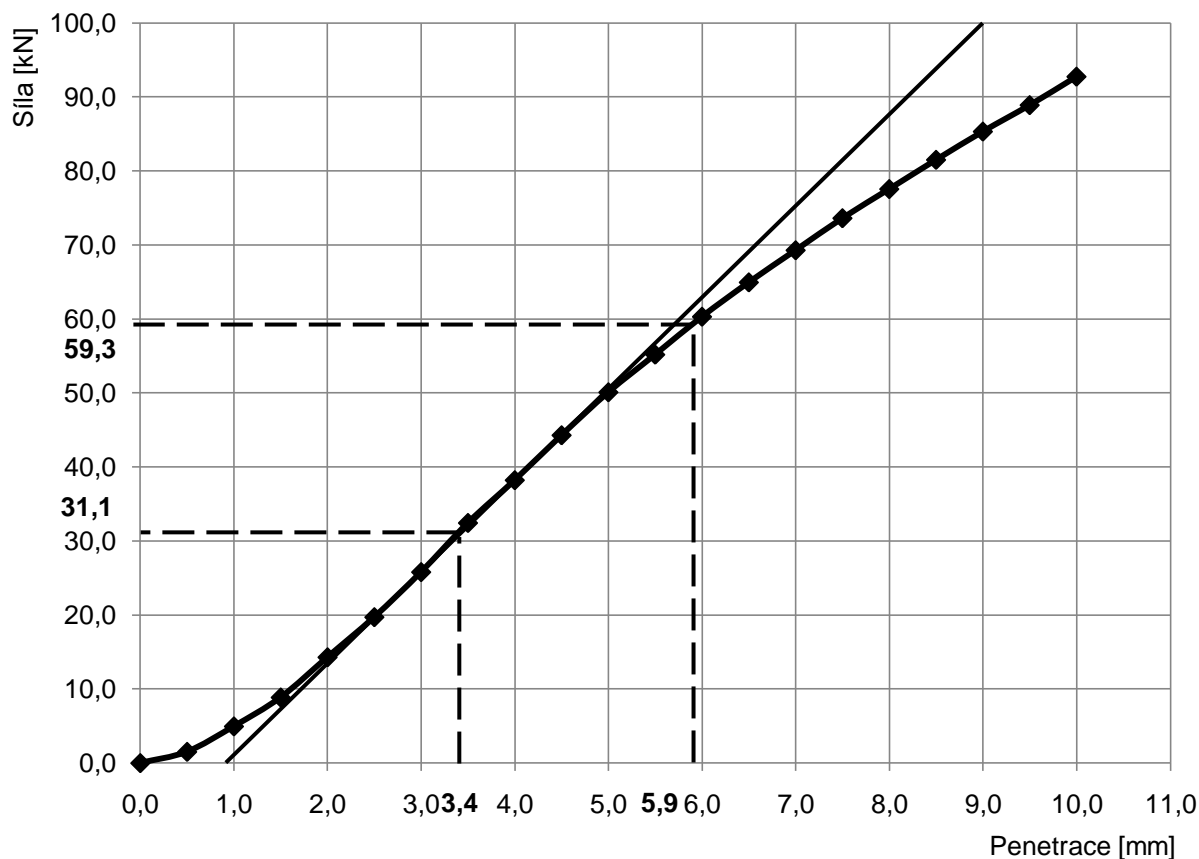
Graf 26 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi III – 15



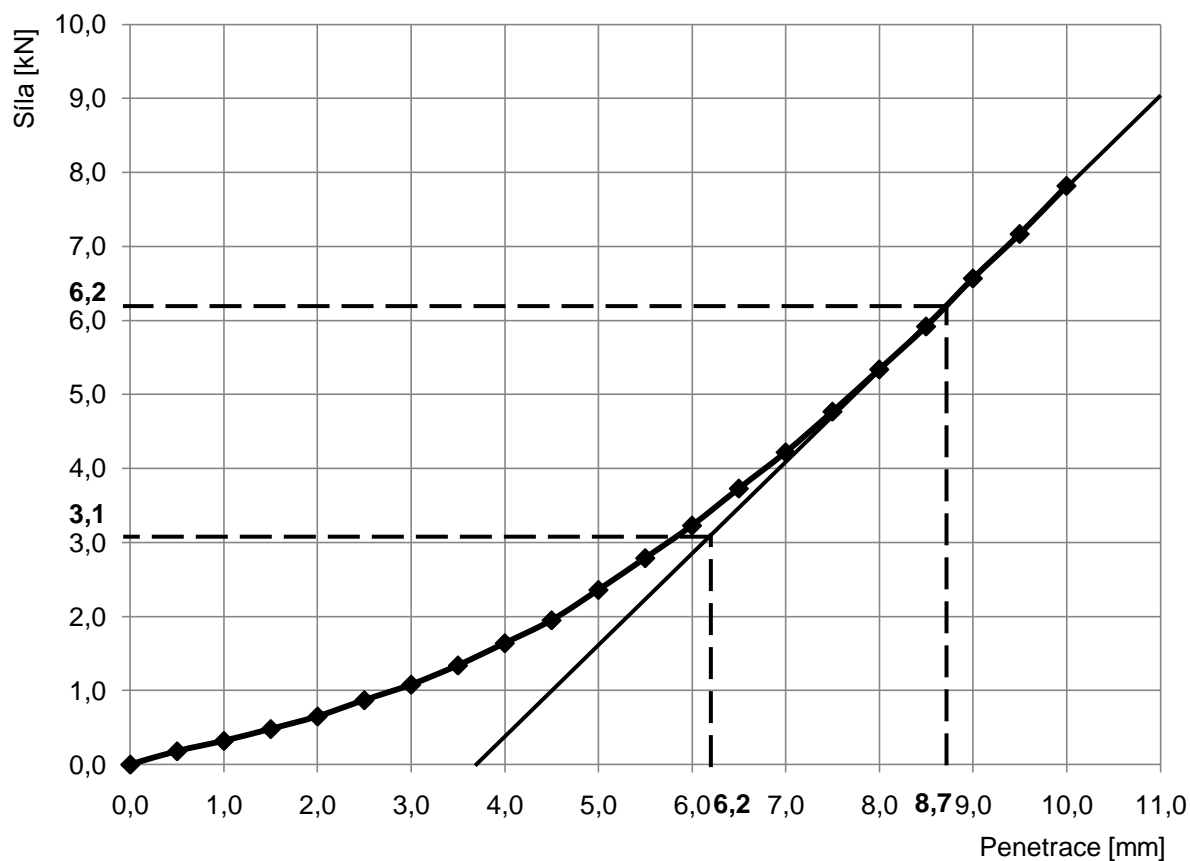
Graf 27 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi IV – 1



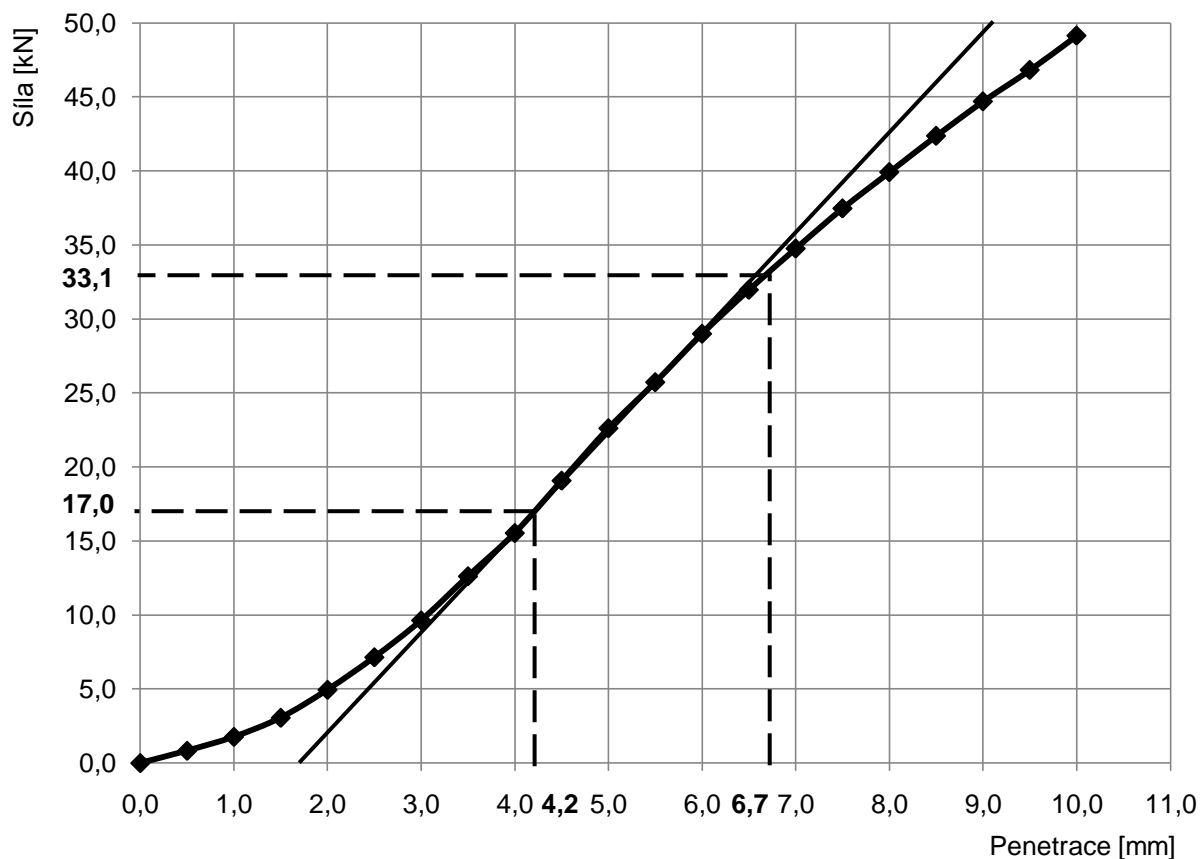
Graf 28 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi IV – 1



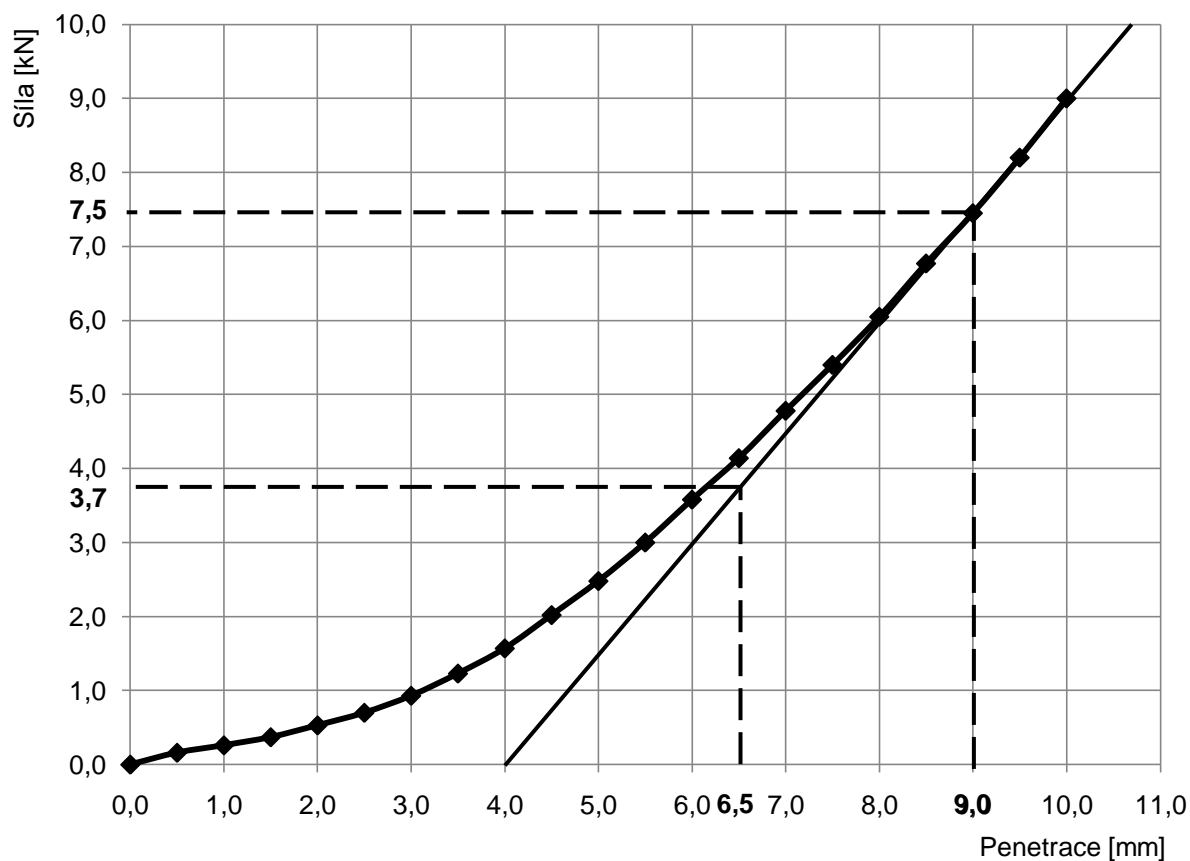
Graf 29 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi IV – 3



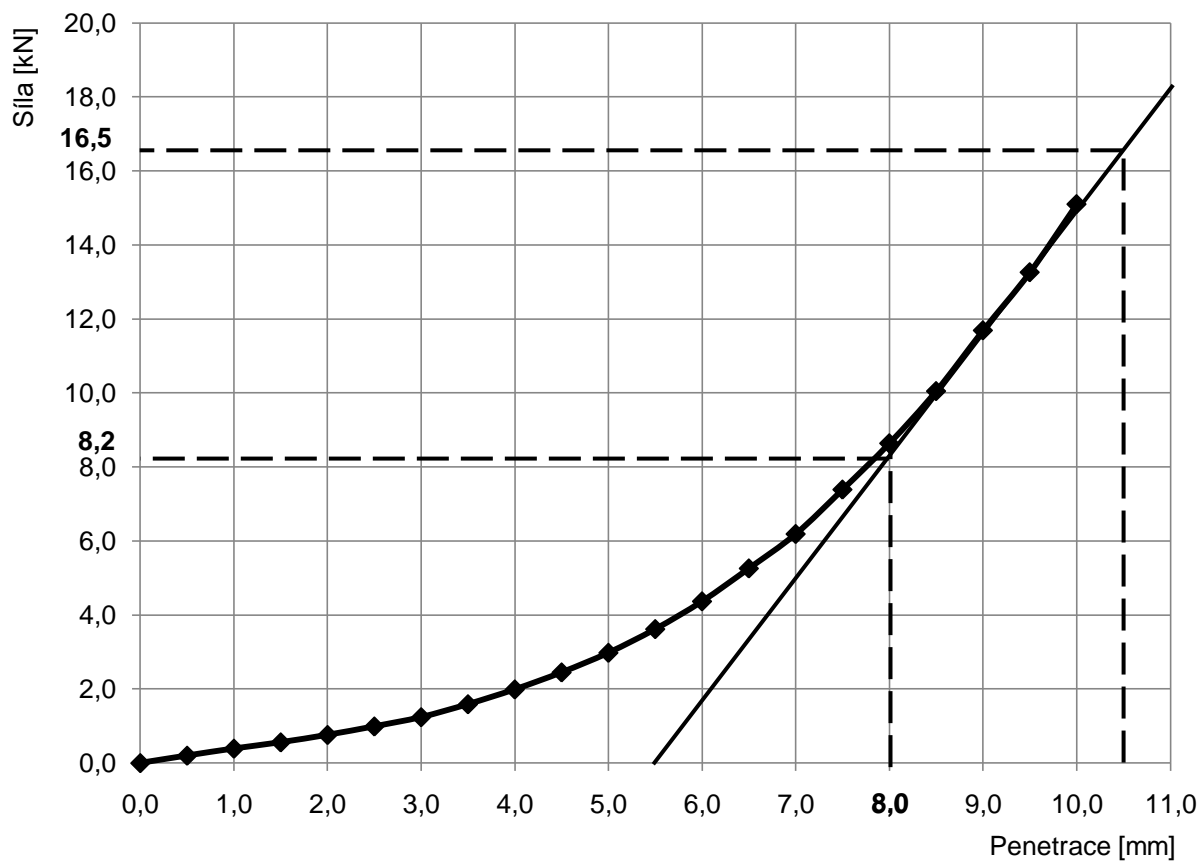
Graf 30 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi IV – 3



Graf 31 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi IV – 5



Graf 32 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi IV – 5

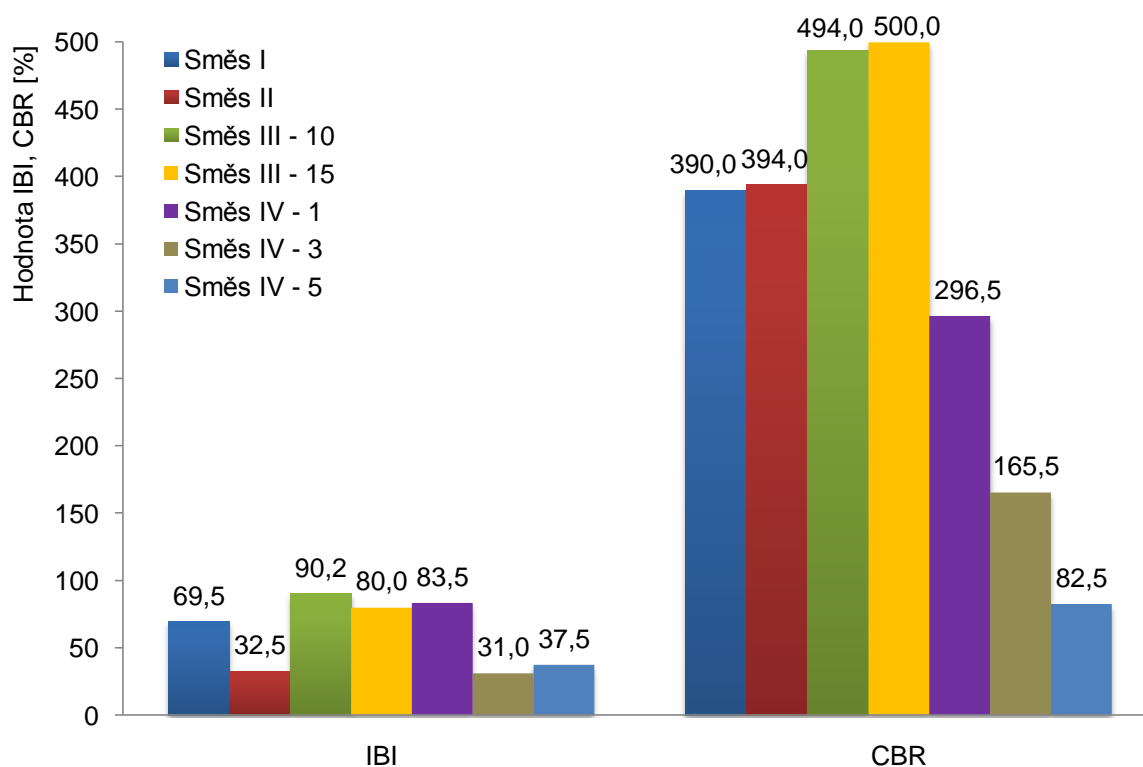


Z opravených křivek byly odečteny velikosti sil pro dané hodnoty penetrace 2,5 mm a 5 mm. Hodnoty IBI a CBR se vypočítaly vyjádřením síly na píst pro danou penetraci jako procento standardní síly (13,2 kN respektive 20,0 kN). Vyšší z obou hodnot je hodnotou IBI nebo CBR (Graf 33).

Tabulka 30 Výsledné hodnoty IBI a CBR stmelených směsí

Označení směsi	Penetrace [mm]	Standardní síla [kN]	Okamžitý index únosnosti		Kalifornský poměr únosnosti	
			Síla [kN]	IBI [%]	Síla [kN]	CBR [%]
Směs I	2,5	13,2	7,2	54,5	39,0	295,5
	5,0	20,0	13,9	69,5	78,0	390,0
Směs II	2,5	13,2	3,8	28,8	39,6	300,0
	5,0	20,0	6,5	32,5	78,8	394,0
Směs III – 10	2,5	13,2	11,9	90,2	56,0	424,2
	5,0	20,0	17,8	89,0	98,8	494,0
Směs III – 15	2,5	13,2	9,3	70,5	61,8	468,2
	5,0	20,0	16,0	80,0	100,0	500,0
Směs IV – 1	2,5	13,2	8,6	65,2	31,1	235,6
	5,0	20,0	16,7	83,5	59,3	296,5
Směs IV – 3	2,5	13,2	3,1	23,5	17,0	128,8
	5,0	20,0	6,2	31,0	33,1	165,5
Směs IV – 5	2,5	13,2	3,7	28,0	8,2	62,1
	5,0	20,0	7,5	37,5	16,5	82,5

Graf 33 Výsledné hodnoty IBI a CBR stmelených směsí



Z výsledného grafu je zřejmé, že doba zrání a následná saturace ve vodě mají výrazný vliv na nárůst únosnosti jednotlivých směsí. Tento fakt přisuzují tomu, že ve všech směsích jsou použita hydraulická pojiva, která po zatuhnutí na vzduchu tvrdnou i pod vodou. Při tvrdnutí dochází k hydrataci minerálů pojiv v důsledku stálého přísunu vody.

Směs I (směs s cementem) vykazuje vyšší okamžitou únosnost oproti směsi II (směs s doropertem). To je dáno rychlým vývojem počáteční pevnosti u cementu. Ovšem po saturaci dosahují směsi I a II téměř shodné únosnosti.

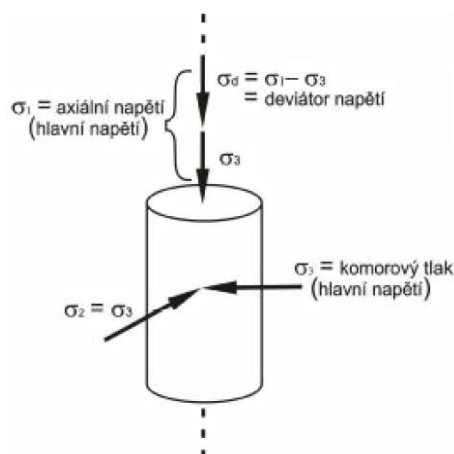
Nejvyšší únosnosti dosahuje směs III (směs se slévárenskou skořepinou). Hodnoty CBR mohou být ve skutečnosti ještě vyšší, neboť zkouška musela být přerušena před dosažením předepsané penetrace 10 mm z důvodu kapacity lisu, která činí 100 kN. Tyto směsi vykazují vyšší hodnoty i ve srovnání s referenční směsí I, což dokazuje pozitivní vliv slévárenské skořepiny na únosnost. Příčinou této skutečnosti je nejpravděpodobněji pojivo použité ve skořepině.

Směs IV, u které byla použita PET vlákna, vykazují snížení únosnosti při zvyšování procentuálního zastoupení vláken. V porovnání s referenční směsí I došlo pouze k nepatrnému zvýšení okamžité únosnosti v případě přidání PET vláken v množství 1 procenta. Tento fakt ovšem už neplatí po saturaci.

## 6.6 STANOVENÍ MODULŮ PRUŽNOSTI

Zkouška cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji patří k tzv. funkčním zkouškám, které se snaží co nejreálněji napodobit dopravní zatížení působící v podloží a konstrukci vozovek pozemních komunikací. Cyklický triaxiální přístroj se skládá ze zatěžovacího zařízení, které aplikuje svislé zatížení  $\sigma_1$  na válcový vzorek (průměru 100 mm a výšky 200 mm) a simuluje pojezd těžkých nákladních vozidel po pozemní komunikaci. Dále pak z triaxiální komory, kde je aplikován příslušný boční (komorový) tlak  $\sigma_3$ , který simuluje odpor okolního materiálu proti roztlačování vzorku do stran pod svislým zatížením. Výstupem zkoušky jsou stanovené moduly pružnosti  $E_r$ , které charakterizují recyklovaný stavební materiál při cyklickém zatěžování (nahrazuje těžkou nákladní dopravu) v určité vrstvě vozovky. [21]

Obrázek 28 Napětí působící na vzorek [16]



Obrázek 29 Cyklický triaxiální přístroj



Pro stanovení modulu pružnosti hydraulicky stmelených směsí byly pro každou směs připraveny čtyři válcové zkušební vzorky o průměru 100 mm a výšce 200 mm. Směsi byly připraveny za optimální vlhkosti zjištěné z modifikované Proctorovy zkoušky. Vzhledem k výšce vzorku bylo nutné směs hutnit oboustranně, čehož bylo dosaženo vsazením ocelového pístu do spodní části ocelové formy (Obrázek 18). Horní část byla zatěžována staticky lisem při zatížení  $400 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Směsi se nechaly zrát ve formě po dobu 24 hodin při laboratorní teplotě. Vyjmutí zkušebních vzorků proběhlo rozebráním ocelové formy, která byla složena ze tří částí vzájemně spojených šrouby. Vzorky se následně uložily na dobu 27 dní do komory, ve které je udržována stálá vlhkost (Obrázek 20).

Po uplynutí doby zrání byly vzorky zkoušeny v triaxiálním přístroji dle zkušebního postupu uvedeného v ČSN EN 13286-7. Podstatou zkoušky je měření pružného chování válcových vzorků, kterého je dosaženo v důsledku působení předběžného cyklického zatěžování vzorku (= kondicionování), kdy při velkém počtu zatěžovacích cyklů dojde k ustálení stálého přetvoření materiálu (tj. dojde k odstranění trvalých deformací, které se vyskytnou během prvních zatěžovacích cyklů zkoušky). Následuje řada zatěžovacích cyklů s různými drahami napětí, při kterých se měří hodnoty pružného přetvoření a napětí. [8]

Vzhledem k předpokladu využití navržených směsí do spodní podkladní vrstvy vozovky byla pro zkoušku použita metoda zatěžování B s konstantním komorovým tlakem. Pro přípravu vzorku (= kondicionování) byla zvolena úroveň nízkého napětí, která je charakterizována konstantním komorovým tlakem o velikosti 70 kPa ( $\sigma_3 = 70 \text{ kPa}$ ) a deviátorem napětí v minimální hodnotě 0 kPa ( $\sigma_{d,\min} = 0 \text{ kPa}$ ) a maximální hodnotě 200 kPa ( $\sigma_{d,\max} = 200 \text{ kPa}$ ). Aplikované úrovně napětí pokrývají rozsah napětí, kterému je materiál vystaven v konstrukci vozovky. Normou ČSN EN 13286-7 je předepsáno provést cyklický deviátor napětí při 20 000 zatěžovacích cyklech. Ovšem pokud jsou plastické osové přetvoření a modul pružnosti konstantní, pak lze počet zatěžovacích cyklů pro přípravu vzorku snížit na 10 000. Příprava vzorku tedy probíhala aplikováním 10 000 zatěžovacích cyklů pro ustálení trvalých deformací vzorku při komorovém tlaku 70 kPa a deviátoru napětí 200 kPa. [8]

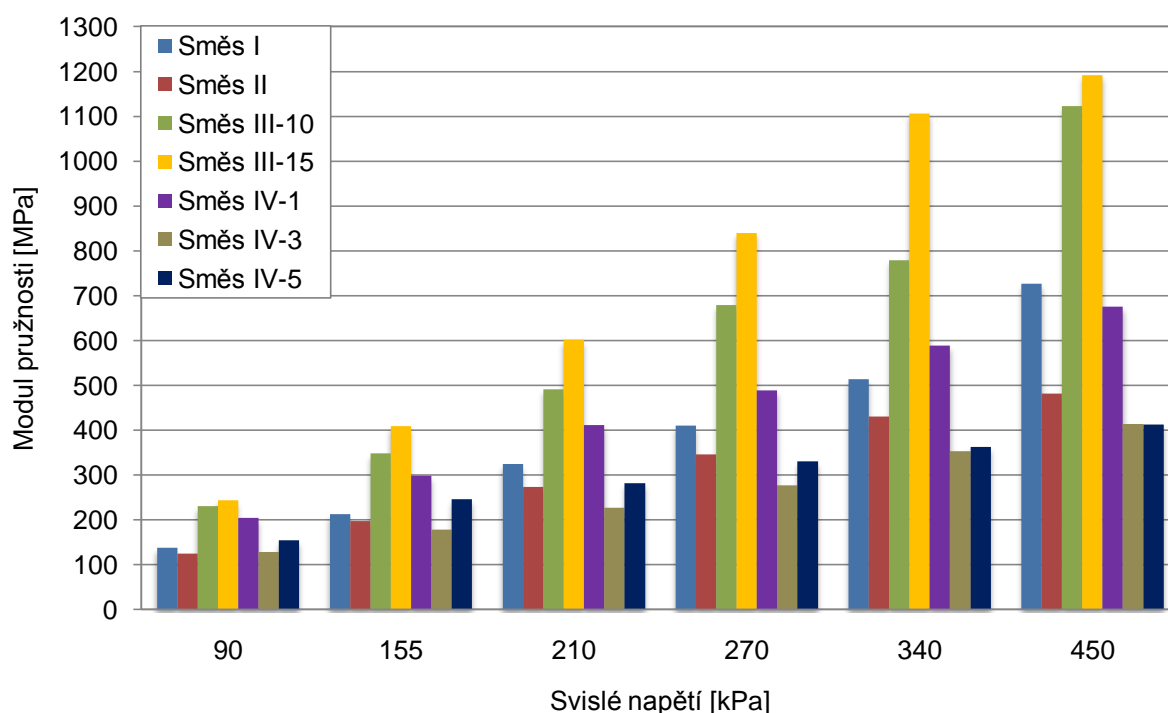
Pro zkoušení pružnosti se provádí opakované zatěžování, kdy se sníží komorový tlak na 20 kPa a následně se postupně aplikují úrovně napětí s komorovými tlaky 20, 35, 50, 70, 100 a 150 kPa definované v normě ČSN EN 13286-7 (postup zatěžování aplikováním jednotlivých tlaků je uveden v tabulce – viz Příloha 1). Použije se každý zatěžovací cyklus na 100 cyklů a zaznamenají se hodnoty napětí a přetvoření při 100. cyklu. [8]

Výsledkem cyklické triaxiální zkoušky jsou moduly pružnosti zkoušených směsí pro různé kombinace komorového tlaku a svislého napětí (výsledky jednotlivých vzorků jsou uvedeny v příloze A). Pro vzájemné porovnání jednotlivých směsí jsou v následném grafu vyneseny moduly pružnosti v závislosti na maximálním svislém napětí pro konkrétní komorové tlaky. Do vyhodnocení nebyly zařazeny vzorky označené jako I-11, II-12, III-12-10 a IV-10-5 a to z důvodu dosažení značně odlišných výsledků vůči ostatním vzorkům dané směsi.

Tabulka 31 Srovnání modulů pružnosti stmelených směsí

Komorový tlak	Deviátor napětí	Svislé napětí	Modul pružnosti [MPa]						
			I	II	III – 10	III – 15	IV – 1	IV – 3	IV – 5
20	70	90	137,59	124,99	230,35	244,06	204,53	128,75	154,38
35	120	155	212,97	197,20	347,67	408,79	298,13	178,09	245,86
50	160	210	323,86	273,66	491,39	601,47	411,30	226,37	282,15
70	200	270	409,61	345,96	678,68	839,51	488,98	276,76	330,23
100	240	340	513,41	430,57	779,04	1106,29	588,07	353,41	362,66
150	300	450	726,23	481,01	1122,40	1191,92	675,02	413,46	412,28

Graf 34 Srovnání modulů pružnosti stmelených směsí



Z grafu je pochopitelně patrný nárůst modulů pružnosti všech směsí v závislosti na zvětšující se hodnotě svislého napětí. Tento trend je výraznější u směsi III a naopak méně výrazný u směsi IV v případě přidání 3 a 5% hm. PET vláken.

Při hodnotě svislého napětí 90 kPa došlo přidáním 10% hm. slévárenské skořepiny k nárůstu modulu pružnosti o 67% vzhledem k referenční směsi I. Přidáním 15% hm. slévárenské skořepiny to bylo dokonce 77%. Také přidáním 1% PET vláken (směs IV-1) došlo k nárůstu o 49%. Obecně lze říci, že popsané směsi (směs III-10, směs III-15 a směs IV-1), dosahovaly vyšší hodnoty modulu pružnosti než směs I při všech hodnotách svislého napětí.

Směs II dosahuje obecně nižšího modulu pružnosti než směs I, přičemž zvětšováním hodnoty svislého napětí je tento rozdíl výraznější.

## 7 MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍM POLYGONU

Zkušební polygon, zrealizovaný v roce 2012 v rámci výzkumného projektu Technologické agentury ČR (TAČR) číslo TA01020333 pod názvem „Recyklované stavební materiály v konstrukcích dopravních staveb“, je zaměřený na využití recyklátů do stmelených směsí.

Řešiteli tohoto projektu jsou DUFONEV, R. C., a. s., VUT Brno a společnost Geostar, s. r. o. Zkušební polygon postavený v Brně – Černovicích, jako přístupová cesta k recyklační lince firmy DUFONEV, R. C., a. s., se skládá z celkem sedmi různých druhů konstrukcí vozovek v celkové délce 185 m. V konstrukcích jsou v maximální míře zastoupeny stavební recykláty, především asfaltový a betonový. Ve směsích byla použita hydraulická pojiva, konkrétně cement a Doroport TB 25.

Tabulka 32 Přehled konstrukcí vozovek ve zkušebním polygonu

ZKUŠEBNÍ POLYGON ČERNOVICE									
Č.	Podkladní vrstva				Konstrukční vrstva				Kryt
	Materiál	Obsah cementu	Tloušťka [mm]	Obsah vody	Materiál	Obsah cementu	Tloušťka [mm]	Obsah vody	Tloušťka [mm]
1	ŠD 0/32	-	150	3,0%	Rc 0/32	7,0%	150 <sup>A</sup>	5,4%	80
2	ŠD 0/32	-	150	3,0%	ŠD 0/32	-	150	3,0%	80
3	Rc 0/32	-	150	5,4%	Rc 0/32	5,0% <sup>A</sup> + 0,5% <sup>B</sup>	150 <sup>A</sup>	5,4%	80
4	Rc 0/32	3%	150 <sup>A</sup>	5,4%	Rc 0/32	5,0%	150 <sup>A</sup>	5,4%	80
5	Rc 0/32	5%	150 <sup>A</sup>	5,4%	30% Ra 70% Rc 0/32	-	150 <sup>A</sup>	5,4%	80
6	Rc 0/32	4%	200 <sup>A</sup>	5,4%	Ra	-	100	5,0%	80
7	Rc 32/63 ŠCM - 0/4		200	5,4%	Ra	-	100	5,0%	80

Poznámka:  
 Pro krytové vrstvy byl použit asfaltový beton ACO 11 40 mm, ACP 16 40 mm  
 Spojovací postřík SPA byl použit v množství 0,5 kg.m<sup>-2</sup>  
<sup>A</sup> ... při zpracování byla použita fréza  
<sup>B</sup> ... 5,0% cementu + 0,5% Doroportu TB25  
 Ra ... recyklát asfaltový  
 Rc ... recyklát betonový  
 ŠD ... šterkodrť  
 ŠCM ... Rc 32/63 mm + výplňová malta s Rc 0/4 mm

Zdroj: Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

## 7.1 MĚŘENÍ ÚNOSNOSTI VOZOVKY

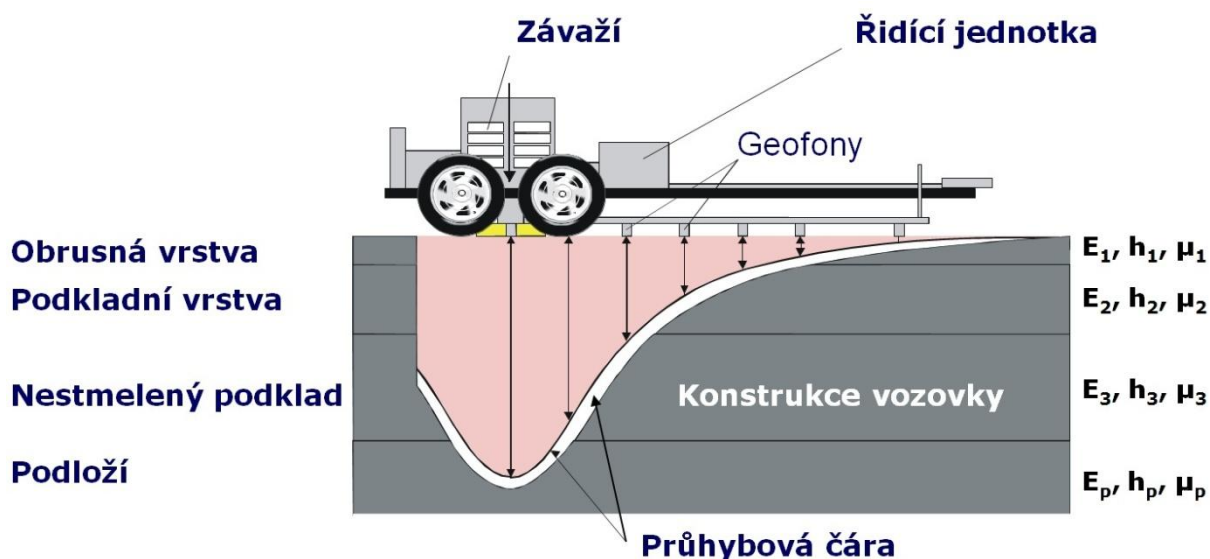
Únosnost vozovky je schopnost konstrukce vozovky a podloží přenášet dopravní zatížení. Únosnost konstrukčních vrstev lze měřit pomocí statických nebo dynamických zařízení. V současné době jsou standardně používána zařízení pro měření únosnosti dynamickým rázem tzv. FWD (Falling Weight Deflectometer). [17]

Princip nedestruktivní metody spočívá ve změření a vyhodnocení odezvy vozovky na dopad závaží o dané hmotnosti na kruhovou desku prostřednictvím tlumicího systému z takové výšky, aby dynamický ráz odpovídal přibližně účinku přejezdu kola návrhové nápravy. Tento dynamický ráz je zaznamenán snímačem síly a sadou snímačů průhybu umístěných v určitých vzdálenostech od středu zatížení na povrchu vozovky. [17]

Odezva vozovky na zatížení je vyjádřena měřenou průhybovou čarou stanovenou poklesem (hodnotami průhybů) povrchu vozovky pod definovaným zatížením v závislosti na fyzikálně mechanických vlastnostech prostředí, velikosti pulzu a vzdálenosti od zkušebního místa (středu zatížení). Měření se provádí pomocí přesných geofonů (snímačů průhybu zrychlení) a údaje o průhybu jsou v  $\mu\text{m}$ . [18]

Při vyhodnocení měření se vychází z výpočtu průhybové čáry podle lineárně pružného vrstevnatého poloprostoru (Obrázek 30). Na základě porovnání vypočtené a naměřené průhybové čáry jsou na každém zkoušeném bodě zpětným výpočtem stanoveny moduly pružnosti jednotlivých konstrukčních vrstev vozovky sloužící pro výpočty únosnosti, zbytkové doby životnosti případně potřebného zesílení vozovky. [17] [18]

Obrázek 30 Princip měření únosnosti vozovky [18]



Mechanická účinnost konstrukce vozovky, na základě měření průhybu, bude závislá na:

- pevnosti zeminy a únosnosti podloží;
- tloušťce jednotlivých vrstev vozovky;
- pevnosti a deformačních vlastnostech materiálů jednotlivých vrstev vozovky;
- skladbě vozovky a míry spolupůsobení vrstev na jejich styku [18]

Rázová zatěžovací zkouška dynamickým rázovým zařízením (Obrázek 31) byla realizována firmou PavEx Consulting, s. r. o. na obrusné vrstvě tvořené asfaltovým betonem (ACO 11). Měření bylo provedeno ve středu každého jízdního pruhu, v každém ze sedmi úseků ve čtyřech provedeních. Během průzkumu byla zaznamenávána teplota vzduchu spolu s teplotou vozovky na povrchu.

Zkouška byla prováděna při standardní hodnotě zatížení 50 kN a hodnotě 80 kN. Zvolené zatížení bylo přenášeno na zatěžovací desku o průměru 300 mm prostřednictvím tlumícího systému. Velikost dotykového tlaku byla 0,707 MPa. Snímače průhybů, označené Y1 až Y9, byly umístěny v doporučených standardních polohách pro zkoušení netuhých vozovek, jak je uvedeno v normě ČSN 73 6192. Vzdálenosti snímačů od středu zatěžovací desky byly postupně 0, 200, 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800 až 2100 mm.

Výsledky měření jsou uvedeny v příloze B této práce. Do budoucna se počítá se sledováním vývoje modulů pružnosti v čase, kdy kontrolní měření únosnosti budou probíhat dvakrát do roka.

*Obrázek 31 Měření únosnosti na zkušebním polygonu*



## 8 POROVNÁNÍ MODULŮ PRUŽNOSTI

Vzhledem k tomu, že směsi stmelené hydraulickými pojivy navržené v této práci byly uvažovány pro spodní podkladní vrstvy, byl pro porovnání laboratorně a reálně zjištěných modulů pružnosti vybrán komorový tlak o hodnotě 20 kPa a svislé napětí o hodnotě 70 kPa. Moduly pružnosti všech vzorků jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 33 Laboratorně zjištěné moduly pružnosti

Cyklická triaxiální zkouška					
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí					
Komorový tlak 20 kPa, svislé napětí 70 kPa					
Směs	Modul pružnosti $E_r$ [MPa]				
	Vzorek 9	Vzorek 10	Vzorek 11	Vzorek 12	Průměr
I	160,07	105,09	202,57	125,24	150
II	70,20	97,43	160,56	207,66	135
III – 10	134,71	288,38	252,10	293,44	240
III – 15	175,28	371,36	177,00	207,81	235
IV – 1	151,85	121,39	286,87	231,97	200
IV – 3	99,15	192,26	82,65	180,52	140
IV – 5	111,99	333,56	109,73	312,08	215

Tabulka 34 Reálně zjištěné moduly pružnosti

Výpočet charakteristik únosnosti měřeného úseku – zkušební polygon					
Způsob zkoušení: ČSN 73 6192					
Zatížení: 50 kN					
Úsek	Modul pružnosti vrstvy E3 [MPa]				
	Měření I	Měření II	Měření III	Měření IV	Průměr
1	399	185	92	106	195
2	97	39	95	655	220
3	211	26	726	1815	695
4	1143	1089	3018	169	1355
5	460	358	522	484	455
6	737	540	445	247	490
7	109	135	54	62	360

Zdroj: PavEx® Consulting, s.r.o. © 2012

Laboratorně zjištěné moduly pružnosti u směsí s hydraulickým pojivem a směsným recyklátem dosahují podobných hodnot jako moduly pružnosti naměřené na úsecích označených 1 a 2 ve zkušebním polygonu. V těchto úsecích byla v nestmelené podkladní vrstvě použita šterkodrt' frakce 0/32 mm v tloušťce 150 mm.

Srovnáním s ostatními měřeními úseky, kde byl použit betonový recyklát, lze konstatovat, že navržené stmelené směsi ze směsného recyklátu dosahují výrazně nižších hodnot. Betonový recyklát lze tedy obecně hodnotit jako kvalitnější materiál než směsný recyklát použitý v této práci.

## ZÁVĚR

Předložená diplomová práce se v souladu se zadáním věnovala problematice využití druhotných a recyklovaných materiálů do směsí stmelovaných hydraulickými pojivy s tím, že specifický důraz byl kladen na posouzení a porovnání laboratorně zjištěných modulů pružnosti s reálně naměřenými moduly na zkušebním polygonu.

V teoretické části práce byla obecně popsána charakteristika směsí stmelovaných hydraulickými pojivy, jejich typy, systémy klasifikace, technologie výroby a samotné pokládky. V další části byly uvedeny zahraniční zkušenosti s využitím druhotných a recyklovaných materiálů do hydraulicky stmelovaných směsí zpracované formou literární rešerše. Z této pracovní etapy je zřejmé, že danou problematikou se v současnosti zabývá celá řada zahraničních výzkumných a vědeckých pracovišť s cílem seznámit odbornou veřejnost s možností využití těchto materiálů při stavbě pozemních komunikací. Širší používání odpadů v silničním stavitelství je ovšem nutno podpořit vhodnými předpisy a legislativou ze strany státu.

Pracovní náplní byla i praktická část zaměřená na využití druhotných surovin ve stmelovaných směsích. Konkrétně se jednalo o slévárenskou skořepinu, PET vlákna a drcenou odpadní pryž. Na jednotlivých směsích byly provedeny konvenční zkoušky pro zjištění základních parametrů zkoušeného materiálu a to stanovení zrnitosti a zhutnitelnosti, pevnost v prostém tlaku, pevnost v příčném tahu, okamžitý index únosnosti IBI a kalifornský poměr únosnosti CBR. Dále byly směsi podrobeny funkčním zkouškám simulujícím reálné namáhání materiálů, kterému jsou vystaveny v konstrukci vozovky. Mezi tyto zkoušky patří odolnost proti mrazu a vodě a zkouška cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji.

V práci výše uvedené závěry se nyní pokusím v bodech shrnout. S ohledem na výsledky provedených zkoušek lze konstatovat že:

- zkoušený směsný recyklát vyhovoval svou zrnitostí pro použití ve stmelovaných směsích;
- drcená odpadní pryž se v cementem stmelené směsi neosvědčila (vyrobené zkušební vzorky nebyly vhodné ke zkoušení z důvodu vzniklých trhlin);
- cementem stmelené směsi se slévárenskou skořepinou dosahovaly vyšších hodnot IBI i CBR oproti referenční směsi;
- směsi, u kterých byla použita PET vlákna, vykazují snižování únosnosti při zvyšování procentuálního zastoupení vláken;
- nejvyšší hodnoty pevnosti v tlaku dosahovala referenční směs, ostatní směsi dosahovaly v důsledku přidání druhotných surovin nižších pevností;
- směsi s přídavkem 3 a 5% PET vláken se při zkoušce pevnosti v prostém tlaku chovaly značně pružně (po odtížení se zkušební vzorky vracely do původní polohy) a během zkoušky nedošlo k jejich porušení (všechny ostatní směsi lze zařadit do třídy pevnosti  $C_{3/4}$ );
- zkouškou odolnosti proti mrazu a vodě byla zjištěna značná náchylnost cementem stmelovaných směsí ke ztrátě pevnosti (normou předepsané kritérium 85% pevnosti v tlaku nebylo v případě těchto směsí splněno – hodnoty se pohybovaly v rozmezí 69 – 82%);
- zkoušce odolnosti proti mrazu a vodě vyhověla pouze směs, kde bylo jako pojiva použito Doroportu TB25;

- směs, v níž byla přidána slévárenská skořepina, vykazovala vyšší hodnoty modulu pružnosti než referenční směs I (při hodnotě svislého napětí 90 kPa došlo přidáním 10% hm. slévárenské skořepiny k nárůstu modulu pružnosti o 67%, přidáním 15% hm. to bylo dokonce 77%);
- přidáním 1% PET vláken (směs IV-1) došlo k nárůstu o 49%;
- směs s Doroportem TB25 dosahuje obecně nižšího modulu pružnosti než směs s cementem, přičemž zvětšováním hodnoty deviátoru napětí je tento rozdíl výraznější;
- srovnáním laboratorně a reálně zjištěných modulů pružnosti bylo zjištěno, že stmelené směsi se směsným recyklátem dosahují výrazně nižších hodnot, než jakých bylo dosaženo v případě směsi s betonovým recyklátem použitých ve zkušebním polygonu

Zajímavých výsledků bylo dosaženo použitím slévárenské skořepiny ve směsi s cementem. Přidáním 10 respektive 15% hm. skořepiny došlo ke zvýšení hodnot únosnosti (prezentované hodnotami IBI a CBR) a modulu pružnosti oproti referenční směsi. Směs ovšem těsně nevyhověla požadavku na odolnost proti mrazu a vodě. Ke splnění kritéria by bylo nutné přidání většího množství pojiva.

Použití zkoušených směsí v praxi limituje především nízká odolnost vůči mrazu a vodě, kdy pouze jediná směs a to směs s Doroportem TB25, vyhověla požadavku 85% pevnosti v tlaku.

Pro využití směsí v podkladních vrstvách by bylo nutné provést technická opatření k omezení vlivu mrazu a vody, například přidáním pojiva, vytvořením ochranné vrstvy z nenamrzavých materiálů nebo použitím geotextílie. Popsaná řešení by se ovšem musela posoudit z hlediska ekonomického, aby úspora nákladů použitím směsného recyklátu byla větší než vynaložené finanční prostředky na popsaná opatření.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ČSN 73 6124-1. *Stavba vozovek - Vrstvy ze směsí stmelovaných hydraulickými pojivy - Část 1: Provádění a kontrola shody*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [2] ČSN 73 6192. *Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [3] ČSN EN 13286-2. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Proctorova zkouška*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] ČSN EN 13286-41. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelovaných hydraulickými pojivy*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [5] ČSN EN 13286-42. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 42: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelovaných hydraulickými pojivy*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [6] ČSN EN 13286-43. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 43: Zkušební metoda pro stanovení modulu pružnosti směsí stmelovaných hydraulickými pojivy*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [7] ČSN EN 13286-47. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [8] ČSN EN 13286-7. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 7: Zkouška nestmelených směsí cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [9] ČSN EN 14227-1. *Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 1: Směsi stmelené cementem*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [10] ČSN EN 14227-5. *Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 5: Směsi stmelené hydraulickými silničními pojivy*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [11] ČSN EN 933-1. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Síťový rozbor*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [12] DE BOCK, L. P. a H. VAN DEN BERGH. *Stainless steel slags in hydraulic bound mixtures for road construction, 2 case studies in Belgium* [online]. [cit. 2012-12-30]. Dostupné z: <http://congress.cimne.upc.es/rilem04/admin/Files/FilePaper/p295.pdf>
- [13] EDWARDS, J. P., J. WINT, A. BUTTRESS a K. HASSAN. *Development of Durability Tests for Hydraulically Bound Mixtures* [online] Banbury: Waste & Resources Action Programme, 2007, 53 s. [cit. 2013-1-6]. Dostupné z: [http://www.sustainableaggregates.com/library/docs/wrap/L0335\\_AGG79\\_005.pdf](http://www.sustainableaggregates.com/library/docs/wrap/L0335_AGG79_005.pdf)

- [14] Georoc Doroport TB 25. [online]. [cit. 2012-12-27]. Dostupné z: <http://www.holcim.cz/produkty-a-sluzby/specialni-hydraulicka-pojiva/georoc-doroport-tb-25.html>
- [15] HASSAN, K. E., B. CHADDOCK, J. W. E. CHANDLER, C. ROBERTS, C. COLEY, A. BADR a J. P. EDWARDS. *Development of performance tests for HBM* [online]. Banbury: Waste & Resources Action Programme, 2008, 103 s. [cit. 2013-1-6]. Dostupné z: [http://www.sustainableaggregates.com/library/docs/wrap/L0334\\_AGG79-004\\_TRL.pdf](http://www.sustainableaggregates.com/library/docs/wrap/L0334_AGG79-004_TRL.pdf)
- [16] HÝZL, P.; STEHLÍK, D.; VARAUS, M., *Výroční zpráva projektu CG 712-043-910, výzkumná zpráva projektu*, Brno, 2008
- [17] JAREŠ, J., MALÍŠ a PŘÍLESKÝ. *Úloha diagnostiky při výstavbě betonových silničních a letištních vozovek*. Beton: Technologie, konstrukce, sanace [online]. Praha: Česká betonářská společnost, 2005, pátý, 6/2005, s. 22-26 [cit. 2012-12-30]. ISSN 1213-3116. Dostupné z: [http://www.betontks.cz/casopis/BETON\\_TKS\\_2005-06.pdf](http://www.betontks.cz/casopis/BETON_TKS_2005-06.pdf)
- [18] KUDRNA, J. *Diagnostika a management vozovek: modul 03: Únosnost vozovek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2007, 49 s.
- [19] KUDRNA, J. *Technologie pozemních komunikací: modul 5: Vrstvy stmelené hydraulickými pojivy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2011, 21 s.
- [20] NAJDENÁ, I. a J. KOLIVOŠKA. *Hydraulicky stmelené zmesi na báze skleneného recyklátu* [online]. [cit. 2012-12-30]. Dostupné z: [http://www.tsus.sk/profil/verejvystupenia/najdena-kolivoska\\_april-2011.pdf](http://www.tsus.sk/profil/verejvystupenia/najdena-kolivoska_april-2011.pdf)
- [21] PECHA, Karel a Dušan STEHLÍK. *Recyklované stavební materiály do stmelených směsí podkladních vrstev pozemních komunikací*. [online]. 2012 [cit. 2012-12-27]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/recyklovane-stavebni-materialy-do-stmelenych-smesi-podkladnich-vrstev-pozemnich-komunikaci/>
- [22] REID, J. M.; EDWARDS, P.; CHANDLER, J. W. E.; HASSAN, K. E., *Hydraulically bound mixtures incorporating recycled and secondary aggregates*. Banbury: Waste & Resources Action Programme, 2008, 27 s. ISBN 1-84405-375-X. Dostupné z: [http://www.sustainableaggregates.com/library/docs/wrap/L0336\\_AGG79\\_004\\_005.pdf](http://www.sustainableaggregates.com/library/docs/wrap/L0336_AGG79_004_005.pdf)
- [23] SCOTT WILSON LIMITED. *The use of quarry fines in hydraulically bound mixtures for construction applications: Technical Report*. 2008. Dostupné z: [http://www.sustainableaggregates.com/library/docs/mist/10069\\_ma\\_6\\_4\\_003.pdf](http://www.sustainableaggregates.com/library/docs/mist/10069_ma_6_4_003.pdf)
- [24] SEDRAN, T., G. MAUGET, DEPLESENAIRE a MAUDUIT. *Recycling stabilized fly ash from municipal solid waste incineration facility in road hydraulic materials* [online]., 9 s. [cit. 2013-1-6]. Dostupné z: <http://congress.cimne.upc.es/rilem04/admin/Files/FilePaper/p269.pdf>
- [25] STEHLÍK, Dušan a Karel PECHA. *Recykláty pro stmelené směsi podkladních vrstev pozemních komunikací*. In: *Recycling 2012: "Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin"* : Brno 15. - 16. března 2012: sborník přednášek 17. ročníku konference. Brno: VUT, 2012, s. 33-39. ISBN 978-80-214-4432-4. Dostupné z: [http://www.arism.cz/dok/Sbornik\\_RECYCLING\\_2012.pdf](http://www.arism.cz/dok/Sbornik_RECYCLING_2012.pdf)

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1 Čára zrnitosti směsného recyklátu frakce 0/32 mm .....	32
Graf 2 Zhutnitelnost stmelých směsí .....	34
Graf 3 Zhutnitelnost cementem stmelené směsi s 3 % PET vláken .....	35
Graf 4 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi I.....	38
Graf 5 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi II .....	39
Graf 6 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi III – 10 .....	40
Graf 7 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi III – 15 .....	41
Graf 8 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi IV – 1 .....	42
Graf 9 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi IV – 3.....	43
Graf 10 Průběh křivek pevnosti zkušebních vzorků ze směsi IV – 5.....	44
Graf 11 Výsledné pevnosti jednotlivých směsí .....	46
Graf 12 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi I.....	48
Graf 13 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi II .....	49
Graf 14 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi III – 10 .....	50
Graf 15 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi III – 15 .....	51
Graf 16 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi IV – 1 .....	52
Graf 17 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi IV – 3.....	53
Graf 18 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi IV – 5.....	54
Graf 19 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi I .....	57
Graf 20 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi I.....	57
Graf 21 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi II.....	58
Graf 22 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi II .....	58
Graf 23 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi III – 10.....	59
Graf 24 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi III – 10.....	59
Graf 25 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi III – 15.....	60
Graf 26 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi III – 15.....	60
Graf 27 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi IV – 1 .....	61
Graf 28 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi IV – 1.....	61
Graf 29 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi IV – 3 .....	62
Graf 30 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi IV – 3.....	62
Graf 31 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty IBI směsi IV – 5 .....	63
Graf 32 Penetrační křivka pro stanovení hodnoty CBR směsi IV – 5.....	63
Graf 33 Výsledné hodnoty IBI a CBR stmelých směsí .....	64
Graf 34 Srovnání modulů pružnosti stmelých směsí .....	67

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Zkouška pevnosti v tlaku [13].....	14
Obrázek 2 Zkouška modulu pružnosti [13] .....	14
Obrázek 3 Pokládka a hutnění vrstvy [22] .....	16
Obrázek 4 Nástřik asfaltové emulze [22] .....	16
Obrázek 5 Tvorba spár ve vrstvě [22] .....	16
Obrázek 6 Utěsnění asfaltovou zálivkou [22] .....	16
Obrázek 7 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku po 28 dnech zrání [12].....	19
Obrázek 8 Výsledný návrh čáry zrnitosti směsi kameniva [20] .....	23
Obrázek 9 Návrh konstrukce zkušební polygonu [15] .....	24
Obrázek 10 Srovnání pevností v tlaku po 360 dnech [15] .....	26
Obrázek 11 Srovnání pevností v tahu po 360 dnech [15].....	26
Obrázek 12 Srovnání modulů pružnosti po 360 dnech [15].....	26
Obrázek 13 Směsný recyklát frakce 0/16 mm.....	29
Obrázek 14 Forma pro odlévání kovů .....	30
Obrázek 15 Drcení slévárenské skořepiny .....	30
Obrázek 16 Druhotné suroviny použité v cementem stmelených směsích .....	31
Obrázek 17 Hutnění směsí Proctorovou modifikovanou energií .....	33
Obrázek 18 Hutnění zkušebních vzorků.....	36
Obrázek 19 Vyjmutí zkušebních vzorků z formy.....	36
Obrázek 20 Zrání vzorků za stálé vlhkosti .....	36
Obrázek 21 Zkušební lis InfraTest .....	36
Obrázek 22 Zkouška pevnosti v tlaku .....	37
Obrázek 23 Zkouška pevnosti v příčném tahu .....	37
Obrázek 24 Porušení směsi bez rozpadu vzorku .....	47
Obrázek 25 Rovina porušení vzorku .....	47
Obrázek 26 Ruční zhutňovač s formou typu B.....	56
Obrázek 27 Průběh zkoušky IBI.....	56
Obrázek 28 Napětí působící na vzorek [16] .....	65
Obrázek 29 Cyklický triaxiální přístroj .....	65
Obrázek 30 Princip měření únosnosti vozovky [18] .....	69
Obrázek 31 Měření únosnosti na zkušebním polygonu.....	70

**SEZNAM ROVNIC A VZTAHŮ**

Rovnice 1 Vztah pro stanovení pevnosti v tahu [9].....	14
Rovnice 2 Vztah pro výpočet hutnění energie [3].....	33

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Charakteristická pevnost v tlaku (Systém I) [9] .....	13
Tabulka 2 Užití směsí stmelých hydraulickými pojivy ve vozovce [1] .....	14
Tabulka 3 Pevnost v tlaku zkušebních vzorků [12].....	18
Tabulka 4 Zkoušené směsi [24].....	20
Tabulka 5 Mechanické vlastnosti zkoušených směsí [24].....	21
Tabulka 6 Směsi použité ve zkušebním polygonu [24].....	21
Tabulka 7 Mechanické a fyzikální vlastnosti [20].....	22
Tabulka 8 Pevnostní charakteristiky cementem stmelené směsi 0/16 [20] .....	23
Tabulka 9 Materiály pro směsi použité v polygonu [15].....	25
Tabulka 10 Přehled navržených stmelých směsí .....	28
Tabulka 11 Zhutnitelnost stmelých směsí .....	34
Tabulka 12 Zhutnitelnost cementem stmelené směsi s 3 % PET vláken .....	35
Tabulka 13 Zkouška pevnosti v tlaku směsi I .....	38
Tabulka 14 Zkouška pevnosti v tlaku směsi II .....	39
Tabulka 15 Zkouška pevnosti v tlaku směsi III – 10.....	40
Tabulka 16 Zkouška pevnosti v tlaku směsi III – 15.....	41
Tabulka 17 Zkouška pevnosti v tlaku směsi IV – 1 .....	42
Tabulka 18 Zkouška pevnosti v tlaku směsi IV – 3 .....	43
Tabulka 19 Zkouška pevnosti v tlaku směsi IV – 5 .....	44
Tabulka 20 Zkouška pevnosti v příčném tahu jednotlivých směsí.....	45
Tabulka 21 Výsledné pevnosti jednotlivých směsí .....	46
Tabulka 22 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi I.....	48
Tabulka 23 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi II.....	49
Tabulka 24 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi III – 10 .....	50
Tabulka 25 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi III – 15 .....	51
Tabulka 26 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi IV – 1 .....	52
Tabulka 27 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi IV – 3 .....	53
Tabulka 28 Zkouška odolnosti proti mrazu a vodě směsi IV – 5 .....	54
Tabulka 29 Odolnost proti mrazu a vodě jednotlivých směsí .....	55
Tabulka 30 Výsledné hodnoty IBI a CBR stmelých směsí .....	64
Tabulka 31 Srovnání modulů pružnosti stmelých směsí .....	67
Tabulka 32 Přehled konstrukcí vozovek ve zkušebním polygonu .....	68
Tabulka 33 Laboratorně zjištěné moduly pružnosti .....	71
Tabulka 34 Reálně zjištěné moduly pružnosti.....	71

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$\sigma_1$	[kPa]	celkové svislé napětí
$\sigma_3$	[kPa]	komorový tlak
$\sigma_{d,max}$	[kPa]	maximální hodnota deviátoru napětí
$\rho_{d,max}$	[kg.m <sup>-3</sup> ]	maximální hodnota suché objemové hmotnosti
$\sigma_{d,min}$	[kPa]	minimální hodnota deviátoru napětí
$C_{3/4}$		třída pevnosti dle ČSN EN 14227-1
CaO		oxid vápenatý
CBGM		cement bound granular mixture (směs stmelená cementem)
CBR	[%]	California Bearing Ratio (kalifornský poměr únosnosti)
CRT		Cathode Ray Tube (katodová trubice)
ČSN EN		Česká technická norma
$E_r$	[MPa]	modul pružnosti
FABM		fly ash bound mixture (směs stmelená popílkem)
FWD		Falling Weight Deflectometer (dynamické rázové zařízení)
GBS		granulated blast furnace slag (granulovaná vysokopecní struska)
HL		hydrated lime (vápený hydrát)
IBI	[%]	Immediate Bering Index (okamžitý index únosnosti)
MgO		oxid hořečnatý
PC		portland cement (portlandský cement)
PET		polyethylentereftalát
PFA		pulverized-fuel ash (popílek)
Ra		recyklát asfaltový
RA		recycled aggregates (recyklované kamenivo)
RAP		recycled asphalt planings (recyklovaný asfalt)
$R_c$	[MPa]	pevnost v prostém tlaku
Rc		recyklát betonový
RCA		recycled concrete aggregates (recyklované betonové kamenivo)
$R_{ck}$		charakteristická pevnost v tlaku
$R_{it}$	[MPa]	pevnost v příčném tahu
$R_t$	[MPa]	pevnost v tahu
S1 SW		písek dobře zrněný
SBM		slag bound mixture (směs stmelená struskou)
$S_r$	[%]	stupeň saturace
ŠCM		šterk částečně vyplněný cementovou maltou
ŠD		šterkodrt'
w	[%]	vlhkost
$w_{OPT}$	[%]	optimální vlhkost

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha A.....	1
Výsledky cyklické triaxiální zkoušky.....	1
Směs I.....	1
Příloha 1 Cyklická triaxiální zkouška vzorku I – 9.....	1
Příloha 2 Pracovní diagram vzorku I – 9.....	2
Příloha 3 Modul pružnosti vzorku I – 9.....	2
Příloha 4 Cyklická triaxiální zkouška vzorku I – 10.....	3
Příloha 5 Pracovní diagram vzorku I – 10.....	4
Příloha 6 Modul pružnosti vzorku I – 10.....	4
Příloha 7 Cyklická triaxiální zkouška vzorku I – 11.....	5
Příloha 8 Pracovní diagram vzorku I – 11.....	6
Příloha 9 Modul pružnosti vzorku I – 11.....	6
Příloha 10 Cyklická triaxiální zkouška vzorku I – 12.....	7
Příloha 11 Pracovní diagram vzorku I – 12.....	8
Příloha 12 Modul pružnosti vzorku I – 12.....	8
Směs II.....	9
Příloha 13 Cyklická triaxiální zkouška vzorku II – 9.....	9
Příloha 14 Pracovní diagram vzorku II – 9.....	10
Příloha 15 Modul pružnosti vzorku II – 9.....	10
Příloha 16 Cyklická triaxiální zkouška vzorku II – 10.....	11
Příloha 17 Pracovní diagram vzorku II – 10.....	12
Příloha 18 Modul pružnosti vzorku II – 10.....	12
Příloha 19 Cyklická triaxiální zkouška vzorku II – 11.....	13
Příloha 20 Pracovní diagram vzorku II – 11.....	14
Příloha 21 Modul pružnosti vzorku II – 11.....	14
Příloha 22 Cyklická triaxiální zkouška vzorku II – 12.....	15
Příloha 23 Pracovní diagram vzorku II – 12.....	16
Příloha 24 Modul pružnosti vzorku II – 12.....	16
Směs III – 10.....	17
Příloha 25 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 9 – 10.....	17
Příloha 26 Pracovní diagram vzorku III – 9 – 10.....	18
Příloha 27 Modul pružnosti vzorku III – 9 – 10.....	18
Příloha 28 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 10 – 10.....	19
Příloha 29 Pracovní diagram vzorku III – 10 – 10.....	20
Příloha 30 Modul pružnosti vzorku III – 10 – 10.....	20
Příloha 31 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 11 – 10.....	21

Příloha 32 Pracovní diagram vzorku III – 11 – 10 .....	22
Příloha 33 Modul pružnosti vzorku III – 11 – 10 .....	22
Příloha 34 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 12 – 10.....	23
Příloha 35 Pracovní diagram vzorku III – 12 – 10 .....	24
Příloha 36 Modul pružnosti vzorku III – 12 – 10.....	24
Směs III – 15.....	25
Příloha 37 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 9 – 15.....	25
Příloha 38 Pracovní diagram vzorku III – 9 – 15 .....	26
Příloha 39 Modul pružnosti vzorku III – 9 – 15 .....	26
Příloha 40 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 10 – 15.....	27
Příloha 41 Pracovní diagram vzorku III – 10 – 15 .....	28
Příloha 42 Modul pružnosti vzorku III – 10 – 15 .....	28
Příloha 43 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 11 – 15.....	29
Příloha 44 Pracovní diagram vzorku III – 11 – 15 .....	30
Příloha 45 Modul pružnosti vzorku III – 11 – 15 .....	30
Příloha 46 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 12 – 15.....	31
Příloha 47 Pracovní diagram vzorku III – 12 – 15 .....	32
Příloha 48 Modul pružnosti vzorku III – 12 – 15.....	32
Směs IV – 1 .....	33
Příloha 49 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 9 – 1 .....	33
Příloha 50 Pracovní diagram vzorku IV – 9 – 1 .....	34
Příloha 51 Modul pružnosti vzorku IV – 9 – 1.....	34
Příloha 52 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 10 – 1 .....	35
Příloha 53 Pracovní diagram vzorku IV – 10 – 1 .....	36
Příloha 54 Modul pružnosti vzorku IV – 10 – 1.....	36
Příloha 55 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 11 – 1 .....	37
Příloha 56 Pracovní diagram vzorku IV – 11 – 1 .....	38
Příloha 57 Modul pružnosti vzorku IV – 11 – 1.....	38
Příloha 58 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 12 – 1 .....	39
Příloha 59 Pracovní diagram vzorku IV – 12 – 1 .....	40
Příloha 60 Modul pružnosti vzorku IV – 12 – 1.....	40
Směs IV – 3 .....	41
Příloha 61 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 9 – 3 .....	41
Příloha 62 Pracovní diagram vzorku IV – 9 – 3.....	42
Příloha 63 Modul pružnosti vzorku IV – 9 – 3.....	42
Příloha 64 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 10 – 3 .....	43
Příloha 65 Pracovní diagram vzorku IV – 10 – 3.....	44

Příloha 66 Modul pružnosti vzorku IV – 10 – 3.....	44
Příloha 67 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 11 – 3 .....	45
Příloha 68 Pracovní diagram vzorku IV – 11 – 3.....	46
Příloha 69 Modul pružnosti vzorku IV – 11 – 3.....	46
Příloha 70 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 12 – 3 .....	47
Příloha 71 Pracovní diagram vzorku IV – 12 – 3.....	48
Příloha 72 Modul pružnosti vzorku IV – 12 – 3.....	48
Směs IV – 5 .....	49
Příloha 73 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 9 – 5 .....	49
Příloha 74 Pracovní diagram vzorku IV – 9 – 5.....	50
Příloha 75 Modul pružnosti vzorku IV – 9 – 5.....	50
Příloha 76 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 10 – 5 .....	51
Příloha 77 Pracovní diagram vzorku IV – 10 – 5.....	52
Příloha 78 Modul pružnosti vzorku IV – 10 – 5.....	52
Příloha 79 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 11 – 5 .....	53
Příloha 80 Pracovní diagram vzorku IV – 11 – 5.....	54
Příloha 81 Modul pružnosti vzorku IV – 11 – 5.....	54
Příloha 82 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 12 – 5 .....	55
Příloha 83 Pracovní diagram vzorku IV – 12 – 5.....	56
Příloha 84 Modul pružnosti vzorku IV – 12 – 5.....	56
Příloha B.....	57
Měření únosnosti .....	57
Příloha 85 Tabulka měřených dat.....	57
Příloha 86 Graf měřených průhybů .....	58
Vyhodnocení únosnosti .....	59
Příloha 87 Tabulka vyhodnocení únosnosti.....	59
Příloha 88 Graf modulů pružnosti .....	60

## PŘÍLOHA A

## VÝSLEDKY CYKLICKÉ TRIAXIÁLNÍ ZKOUŠKY

## SMĚS I

Označení směsi: I

Vlhkost vzorku: 12,51 %

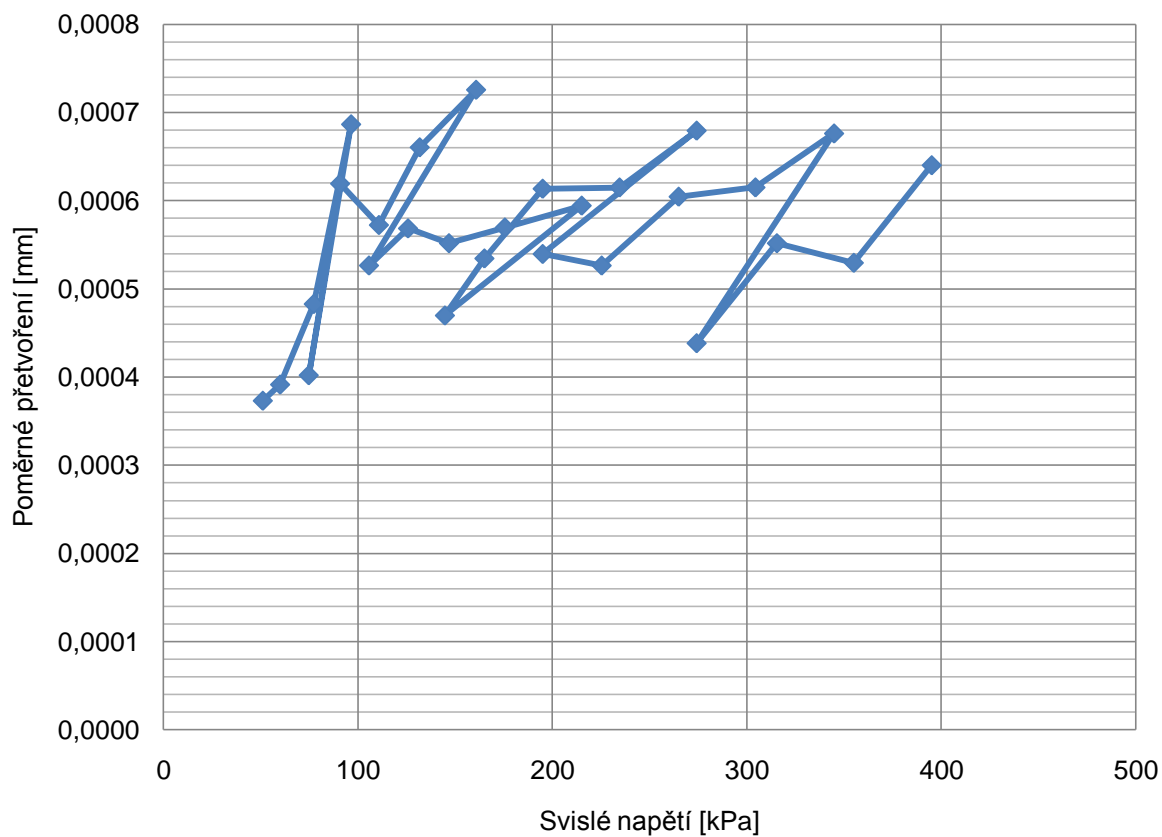
Označení vzorku: I – 9

Hmotnost vzorku: 3,178 kg

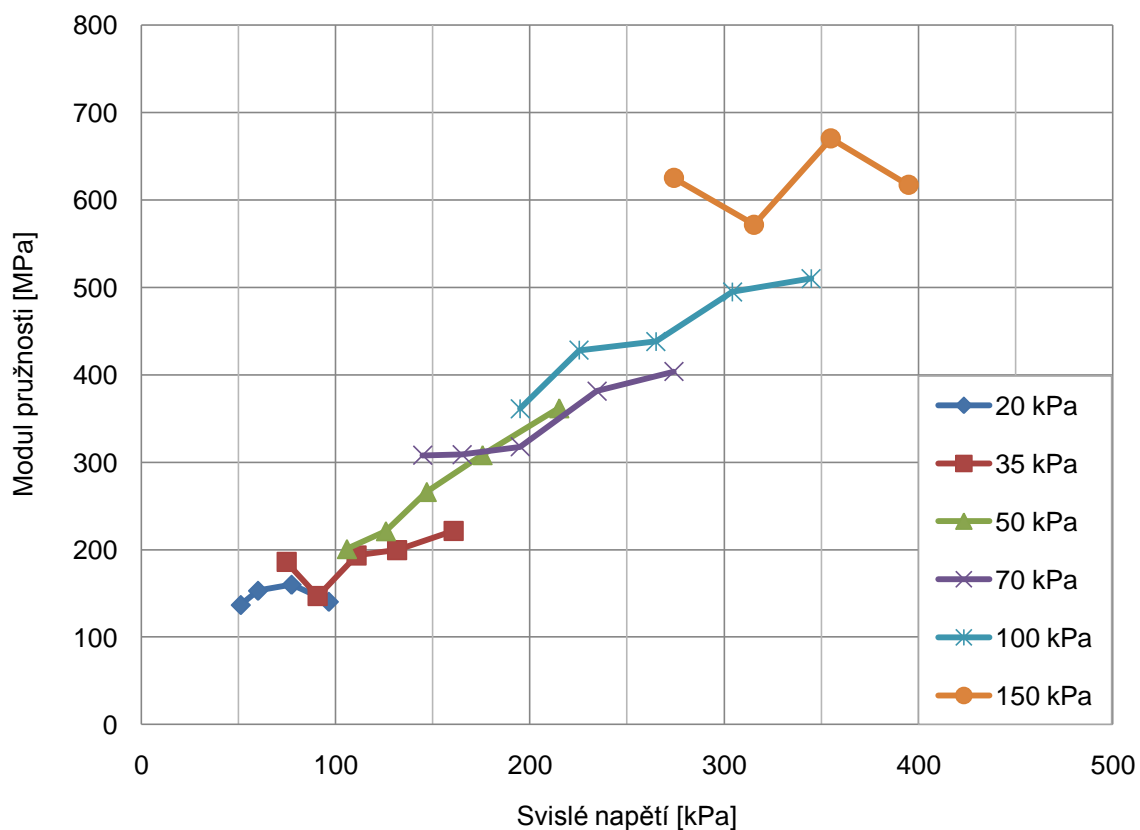
Příloha 1 Cyklická triaxiální zkouška vzorku I – 9

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI I							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,18	25,93	51,11	0,0004	136,87
20	35	55	19,28	40,73	60,00	0,0004	153,17
20	50	70	20,13	57,18	77,31	0,0005	160,07
20	70	90	20,37	76,15	96,51	0,0007	140,58
35	35	70	33,48	41,23	74,71	0,0004	185,71
35	50	85	34,93	55,92	90,85	0,0006	146,68
35	70	105	34,59	76,20	110,79	0,0006	193,53
35	90	125	35,47	96,31	131,77	0,0007	199,51
35	120	155	34,86	125,91	160,77	0,0007	221,54
50	50	100	49,49	56,21	105,70	0,0005	200,71
50	70	120	49,81	75,96	125,77	0,0006	221,18
50	90	140	50,28	96,54	146,81	0,0006	266,05
50	120	170	50,03	125,52	175,55	0,0006	308,15
50	160	210	49,97	165,08	215,04	0,0006	361,74
70	70	140	68,77	75,96	144,73	0,0005	307,96
70	90	160	69,95	95,09	165,04	0,0005	308,71
70	120	190	70,42	124,56	194,97	0,0006	317,75
70	160	230	69,94	164,59	234,52	0,0006	381,32
70	200	270	69,78	204,36	274,14	0,0007	403,50
100	90	190	99,19	95,80	194,99	0,0005	361,33
100	120	220	100,09	125,23	225,32	0,0005	427,92
100	160	260	100,05	164,84	264,89	0,0006	438,14
100	200	300	99,97	204,41	304,38	0,0006	494,86
100	240	340	99,99	244,82	344,81	0,0007	509,94
150	120	270	148,26	125,88	274,14	0,0004	625,09
150	160	310	150,22	165,19	315,41	0,0006	571,58
150	200	350	150,11	204,85	354,95	0,0005	670,19
150	240	390	149,98	245,02	395,00	0,0006	617,02
<b>150</b>	<b>300</b>	<b>450</b>	<b>149,94</b>	<b>304,50</b>	<b>454,44</b>	<b>0,00</b>	<b>858,12</b>

Příloha 2 Pracovní diagram vzorku I – 9



Příloha 3 Modul pružnosti vzorku I – 9



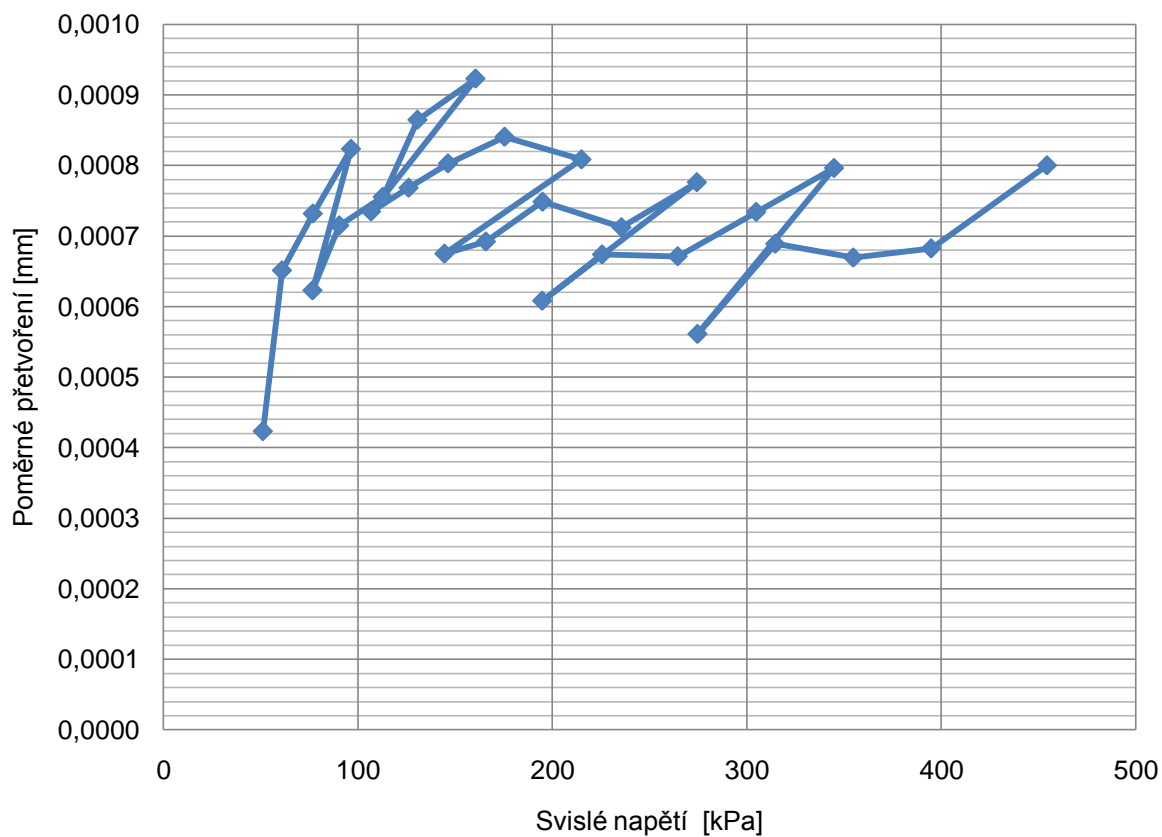
Označení směsi: I  
 Označení vzorku: I – 10

Vlhkost vzorku: 12,83 %  
 Hmotnost vzorku: 3,210 kg

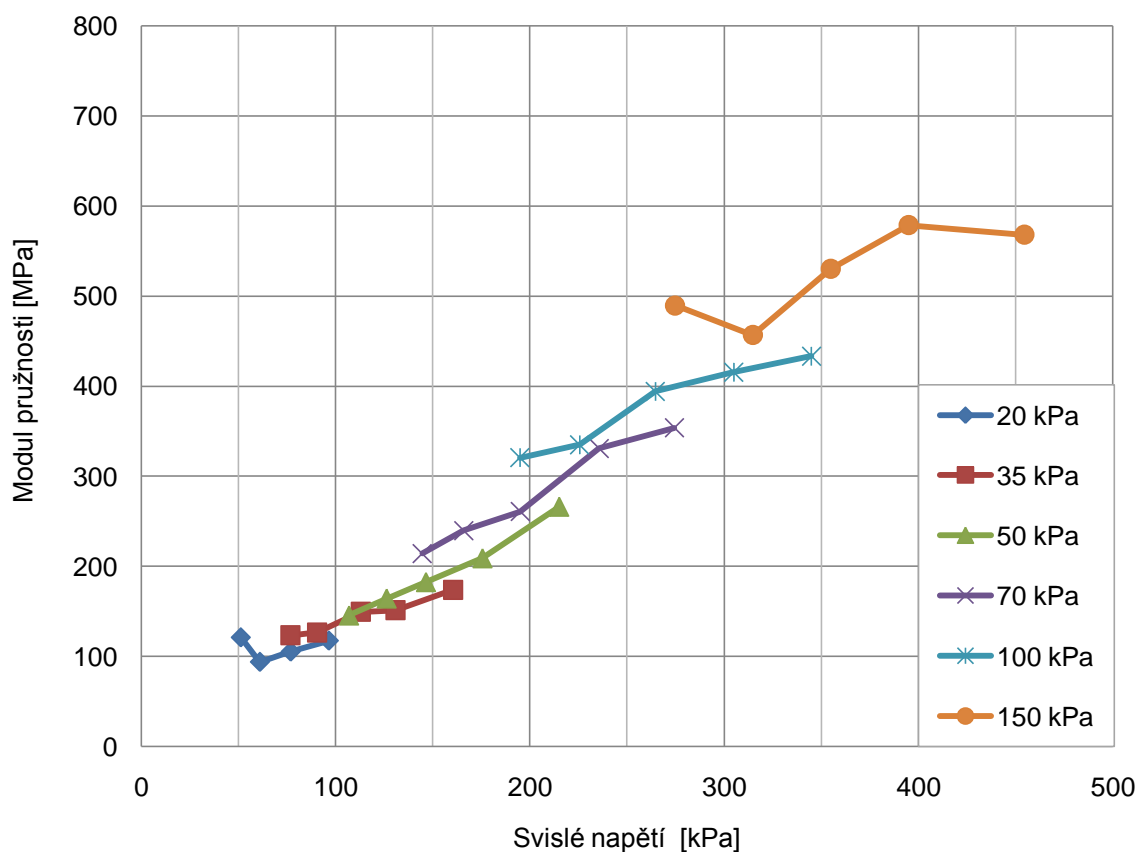
Příloha 4 Cyklická triaxiální zkouška vzorku I – 10

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI I							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,59	25,60	51,19	0,0004	120,85
20	35	55	19,02	42,01	61,03	0,0007	93,71
20	50	70	20,47	56,43	76,90	0,0007	105,09
20	70	90	19,83	76,72	96,55	0,0008	117,25
35	35	70	35,02	41,70	76,73	0,0006	123,17
35	50	85	33,50	57,01	90,51	0,0007	126,58
35	70	105	36,12	76,72	112,84	0,0008	149,39
35	90	125	34,53	96,19	130,72	0,0009	151,19
35	120	155	34,48	126,10	160,58	0,0009	173,99
50	50	100	49,76	57,07	106,84	0,0007	145,40
50	70	120	50,19	76,00	126,18	0,0008	164,23
50	90	140	50,03	96,41	146,44	0,0008	182,40
50	120	170	49,93	125,61	175,55	0,0008	208,84
50	160	210	50,01	165,07	215,08	0,0008	266,03
70	70	140	68,81	75,79	144,61	0,0007	214,23
70	90	160	70,18	95,73	165,91	0,0007	239,68
70	120	190	69,51	125,57	195,07	0,0007	260,62
70	160	230	70,56	165,09	235,66	0,0007	330,80
70	200	270	69,47	204,97	274,44	0,0008	353,58
100	90	190	98,79	96,08	194,87	0,0006	320,35
100	120	220	100,00	125,69	225,69	0,0007	334,90
100	160	260	100,02	164,54	264,56	0,0007	394,12
100	200	300	100,05	204,90	304,95	0,0007	415,42
100	240	340	99,98	245,01	344,99	0,0008	433,22
150	120	270	148,42	126,33	274,76	0,0006	489,51
150	160	310	150,07	164,69	314,77	0,0007	456,86
150	200	350	149,81	205,06	354,87	0,0007	530,10
150	240	390	150,31	244,62	394,92	0,0007	578,70
150	300	450	149,96	304,54	454,51	0,00	568,06

Příloha 5 Pracovní diagram vzorku I – 10



Příloha 6 Modul pružnosti vzorku I – 10



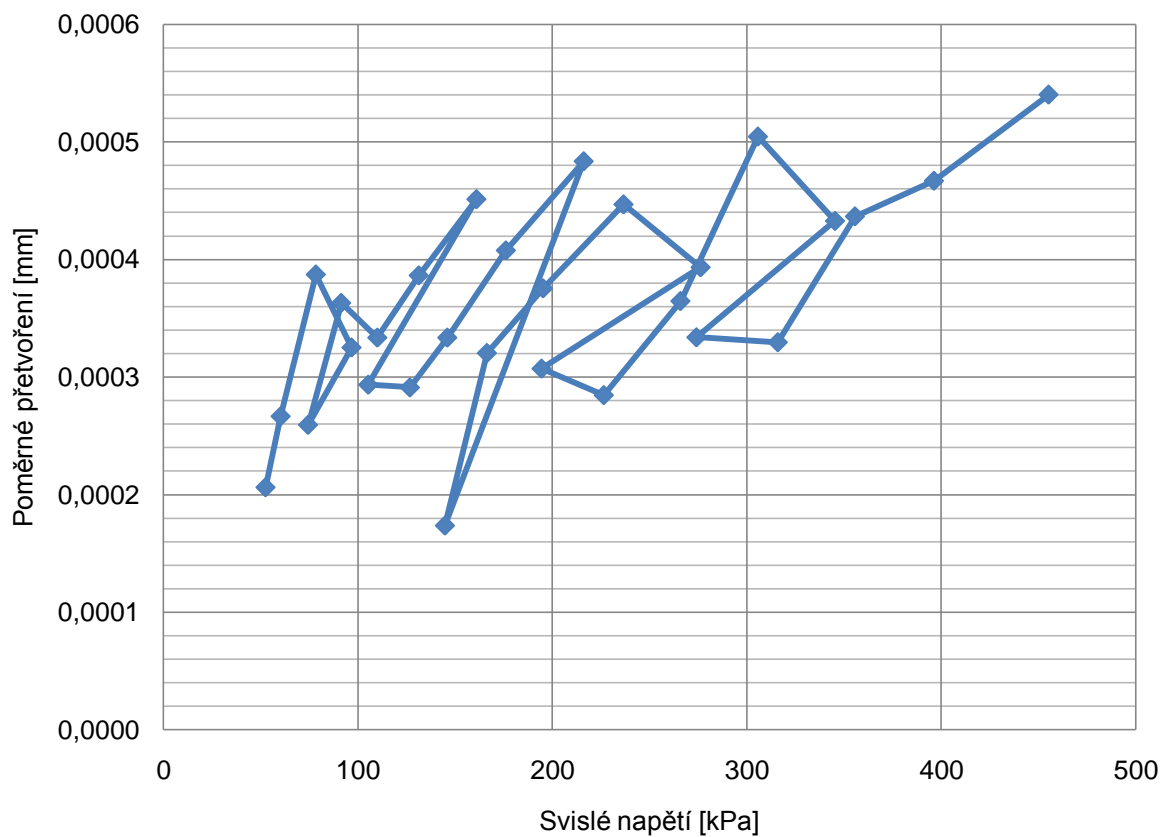
Označení směsi: I  
Označení vzorku: I – 11

Vlhkost vzorku: 12,04 %  
Hmotnost vzorku: 3,254 kg

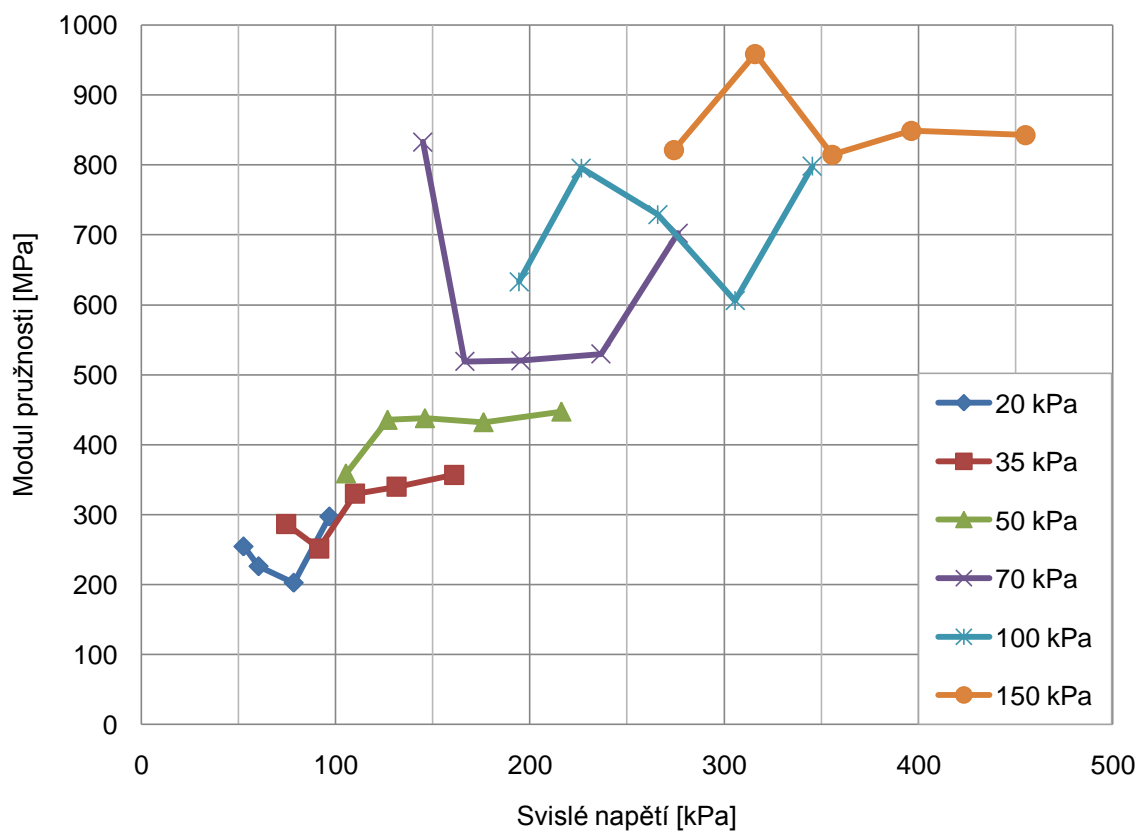
*Příloha 7 Cyklická triaxiální zkouška vzorku I – 11*

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI I							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,89	26,67	52,56	0,0002	254,66
20	35	55	18,43	41,91	60,35	0,0003	226,22
20	50	70	20,93	57,51	78,44	0,0004	202,57
20	70	90	19,97	76,83	96,81	0,0003	297,69
35	35	70	33,56	40,86	74,42	0,0003	286,85
35	50	85	34,84	56,62	91,46	0,0004	251,91
35	70	105	34,60	75,46	110,06	0,0003	329,93
35	90	125	35,15	96,22	131,36	0,0004	339,92
35	120	155	35,08	125,94	161,03	0,0005	356,87
50	50	100	48,90	56,50	105,40	0,0003	359,03
50	70	120	50,14	76,68	126,81	0,0003	435,44
50	90	140	50,12	95,91	146,03	0,0003	437,77
50	120	170	49,92	126,25	176,17	0,0004	432,10
50	160	210	49,71	166,47	216,18	0,0005	447,18
70	70	140	69,17	75,68	144,85	0,0002	832,86
70	90	160	69,97	96,43	166,40	0,0003	519,19
70	120	190	69,79	125,49	195,28	0,0004	520,14
70	160	230	70,12	166,52	236,65	0,0004	529,66
70	200	270	70,23	206,05	276,28	0,0004	702,34
100	90	190	98,39	96,11	194,50	0,0003	633,07
100	120	220	100,00	126,52	226,51	0,0003	795,58
100	160	260	99,99	165,93	265,92	0,0004	729,24
100	200	300	100,11	205,63	305,75	0,0005	606,14
100	240	340	99,94	245,46	345,40	0,0004	798,18
150	120	270	147,79	126,34	274,13	0,0003	821,11
150	160	310	150,03	165,95	315,98	0,0003	958,56
150	200	350	149,85	205,79	355,65	0,0004	814,55
150	240	390	150,15	246,11	396,25	0,0005	848,83
150	300	450	149,97	305,22	455,19	0,00	842,85

Příloha 8 Pracovní diagram vzorku I – 11



Příloha 9 Modul pružnosti vzorku I – 11



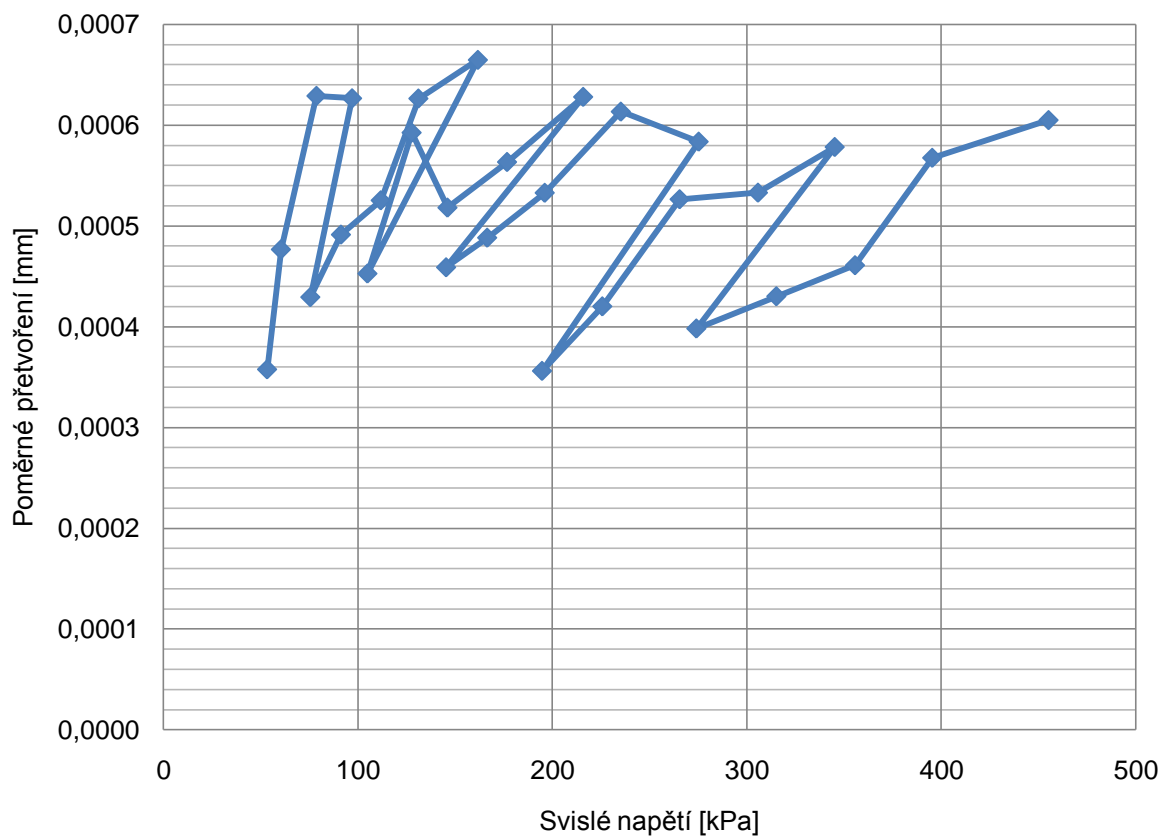
Označení směsi: I  
Označení vzorku: I – 12

Vlhkost vzorku: 12,58 %  
Hmotnost vzorku: 3,272 kg

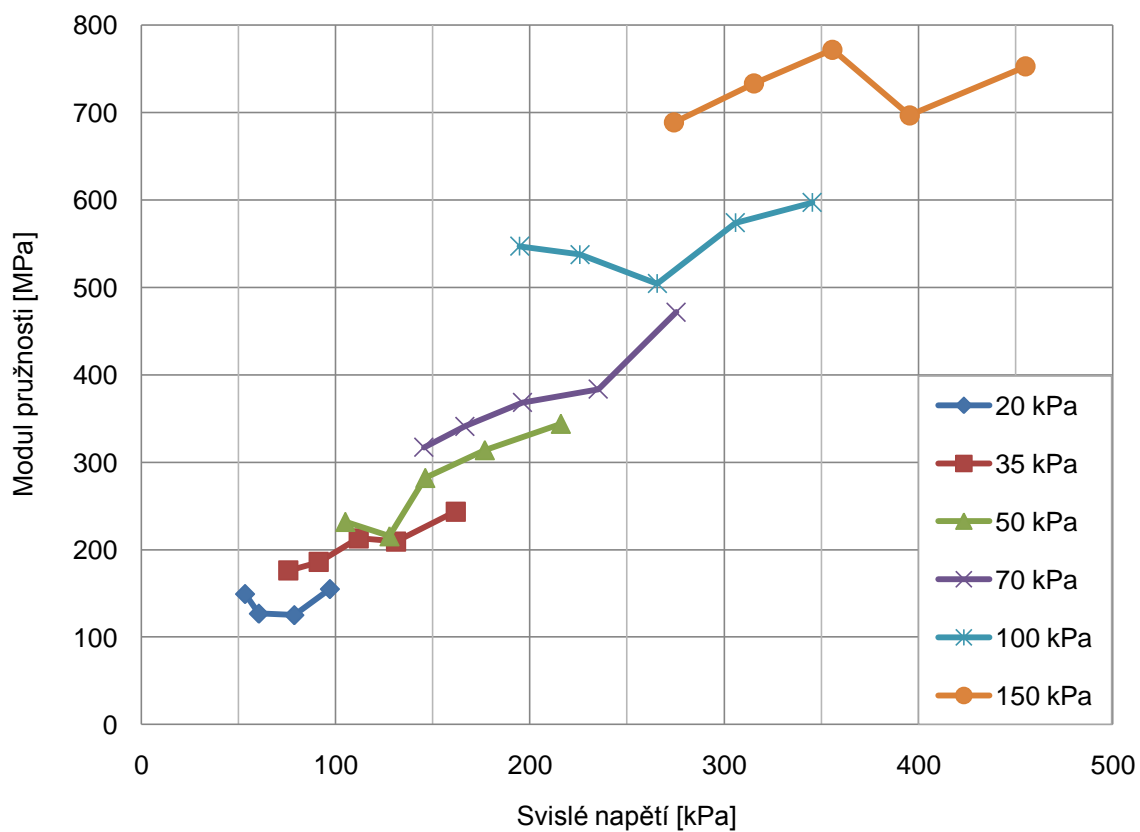
Příloha 10 Cyklická triaxiální zkouška vzorku I – 12

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI I							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20	20	40	26,17	27,22	53,39	0,0004	149,31
20	35	55	18,47	42,02	60,49	0,0005	126,92
20	50	70	21,15	57,64	78,78	0,0006	125,24
20	70	90	19,69	77,42	97,11	0,0006	154,96
35	35	70	33,89	41,73	75,62	0,0004	176,15
35	50	85	34,85	56,51	91,37	0,0005	185,95
35	70	105	34,92	76,91	111,83	0,0005	212,85
35	90	125	34,50	96,71	131,21	0,0006	209,44
35	120	155	35,38	126,41	161,80	0,0007	243,39
50	50	100	48,48	56,51	104,99	0,0005	231,92
50	70	120	50,59	77,13	127,72	0,0006	215,52
50	90	140	49,52	96,63	146,15	0,0005	282,06
50	120	170	50,28	126,52	176,79	0,0006	313,77
50	160	210	50,22	165,73	215,95	0,0006	343,82
70	70	140	68,82	76,64	145,46	0,0005	316,99
70	90	160	70,07	96,51	166,59	0,0005	341,16
70	120	190	69,96	126,21	196,17	0,0005	368,15
70	160	230	69,98	165,33	235,31	0,0006	383,58
70	200	270	69,91	205,44	275,35	0,0006	471,77
100	90	190	98,57	96,22	194,78	0,0004	547,08
100	120	220	100,14	125,65	225,79	0,0004	537,43
100	160	260	99,68	165,87	265,55	0,0005	504,41
100	200	300	100,29	205,56	305,85	0,0005	573,84
100	240	340	99,83	245,48	345,31	0,0006	597,08
150	120	270	147,98	126,19	274,17	0,0004	688,66
150	160	310	150,01	165,28	315,30	0,0004	733,01
150	200	350	149,99	205,77	355,76	0,0005	771,81
150	240	390	150,20	245,26	395,46	0,0006	696,74
150	300	450	150,03	305,27	455,29	0,00	752,51

Příloha 11 Pracovní diagram vzorku I – 12



Příloha 12 Modul pružnosti vzorku I – 12



**SMĚS II**

Označení směsi: II

Vlhkost vzorku: 11,24 %

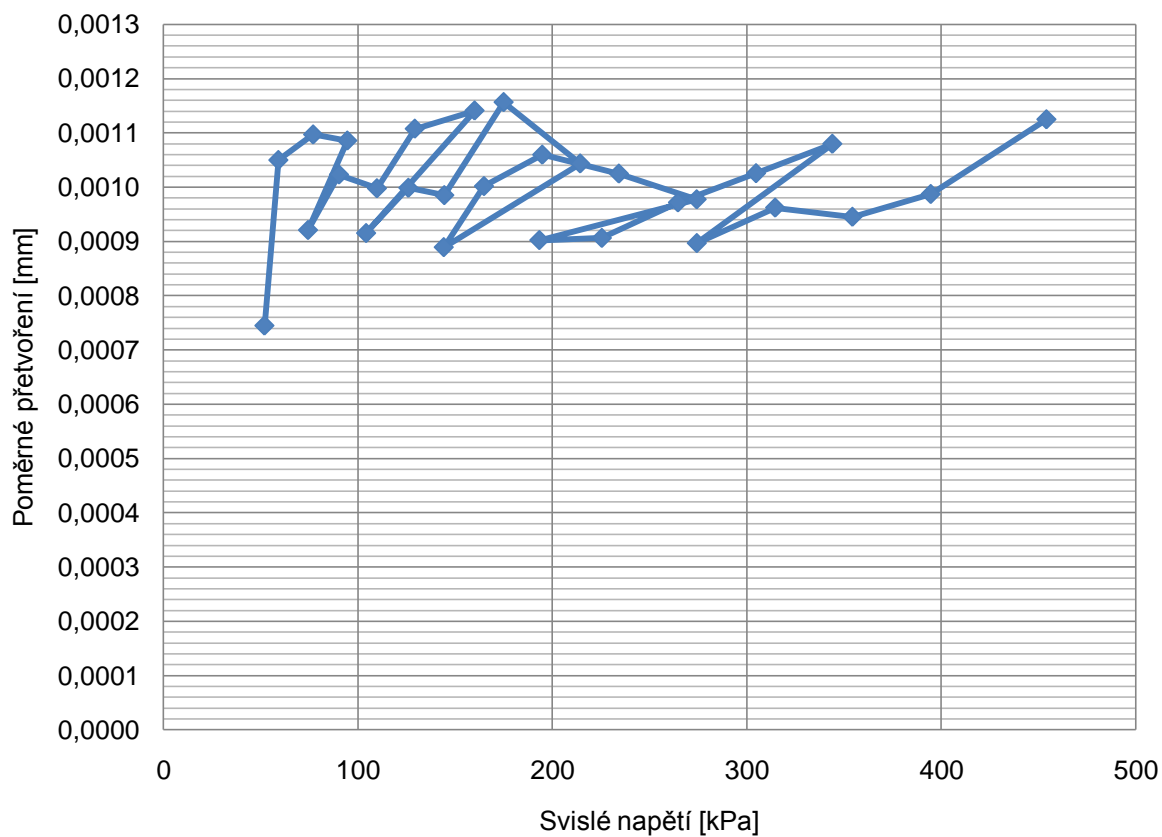
Označení vzorku: II – 9

Hmotnost vzorku: 3,225 kg

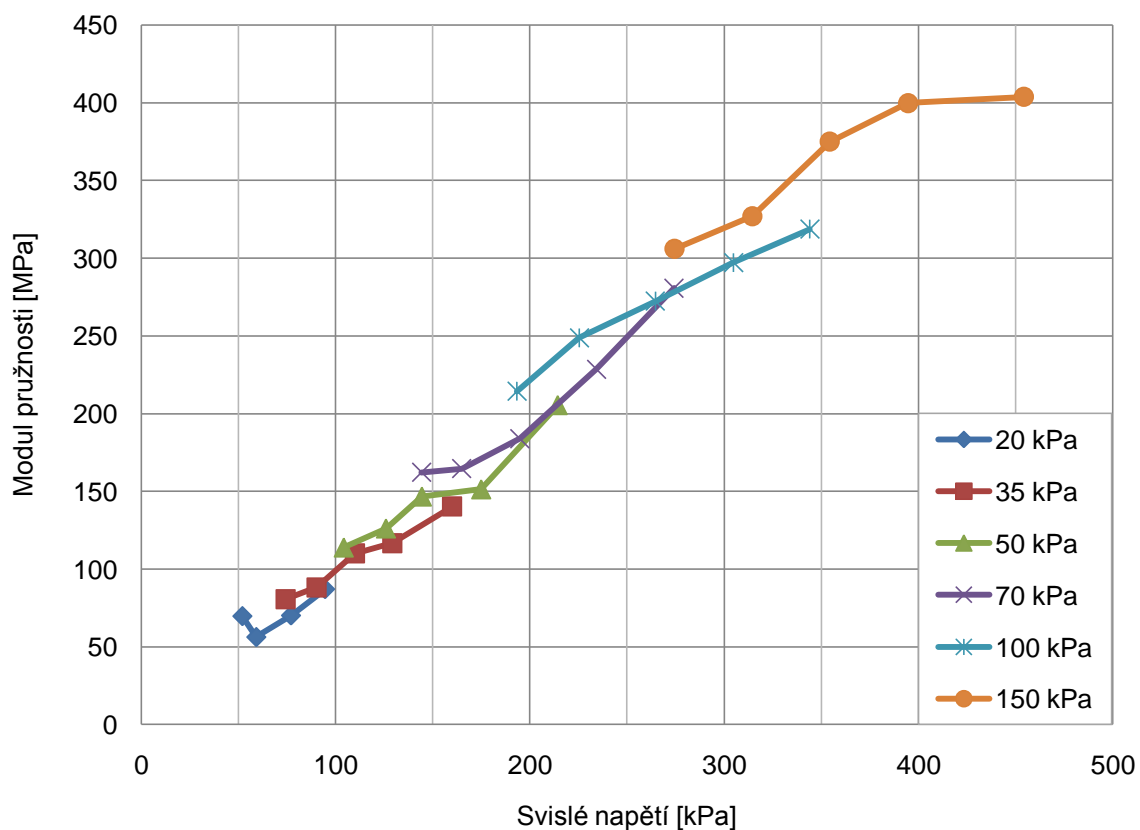
*Příloha 13 Cyklická triaxiální zkouška vzorku II – 9*

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI II							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,98	25,95	51,94	0,0007	69,75
20	35	55	18,51	40,61	59,12	0,0010	56,32
20	50	70	21,26	55,74	77,00	0,0011	70,20
20	70	90	19,43	75,14	94,57	0,0011	87,12
35	35	70	34,06	40,30	74,36	0,0009	80,77
35	50	85	34,89	55,39	90,29	0,0010	88,26
35	70	105	34,90	74,91	109,81	0,0010	110,07
35	90	125	34,55	94,73	129,29	0,0011	116,73
35	120	155	35,35	124,69	160,05	0,0011	140,27
50	50	100	48,54	55,71	104,25	0,0009	113,93
50	70	120	50,56	75,42	125,97	0,0010	126,16
50	90	140	49,63	94,84	144,47	0,0010	146,68
50	120	170	49,88	125,12	175,00	0,0012	151,31
50	160	210	50,25	164,12	214,37	0,0010	205,44
70	70	140	68,91	75,28	144,19	0,0009	162,17
70	90	160	70,05	94,84	164,89	0,0010	164,61
70	120	190	69,85	125,02	194,87	0,0011	183,90
70	160	230	70,15	164,13	234,27	0,0010	228,61
70	200	270	70,22	204,08	274,30	0,0010	280,67
100	90	190	98,63	94,73	193,37	0,0009	214,34
100	120	220	99,92	125,59	225,51	0,0009	248,87
100	160	260	100,06	164,62	264,67	0,0010	272,41
100	200	300	100,05	204,80	304,85	0,0010	297,28
100	240	340	100,10	244,00	344,09	0,0011	318,69
150	120	270	148,03	126,35	274,38	0,0009	306,01
150	160	310	149,95	164,72	314,67	0,0010	327,07
150	200	350	149,86	204,56	354,42	0,0009	374,99
150	240	390	149,95	244,76	394,72	0,0010	399,88
150	300	450	150,05	304,17	454,23	0,00	403,83

Příloha 14 Pracovní diagram vzorku II – 9



Příloha 15 Modul pružnosti vzorku II – 9



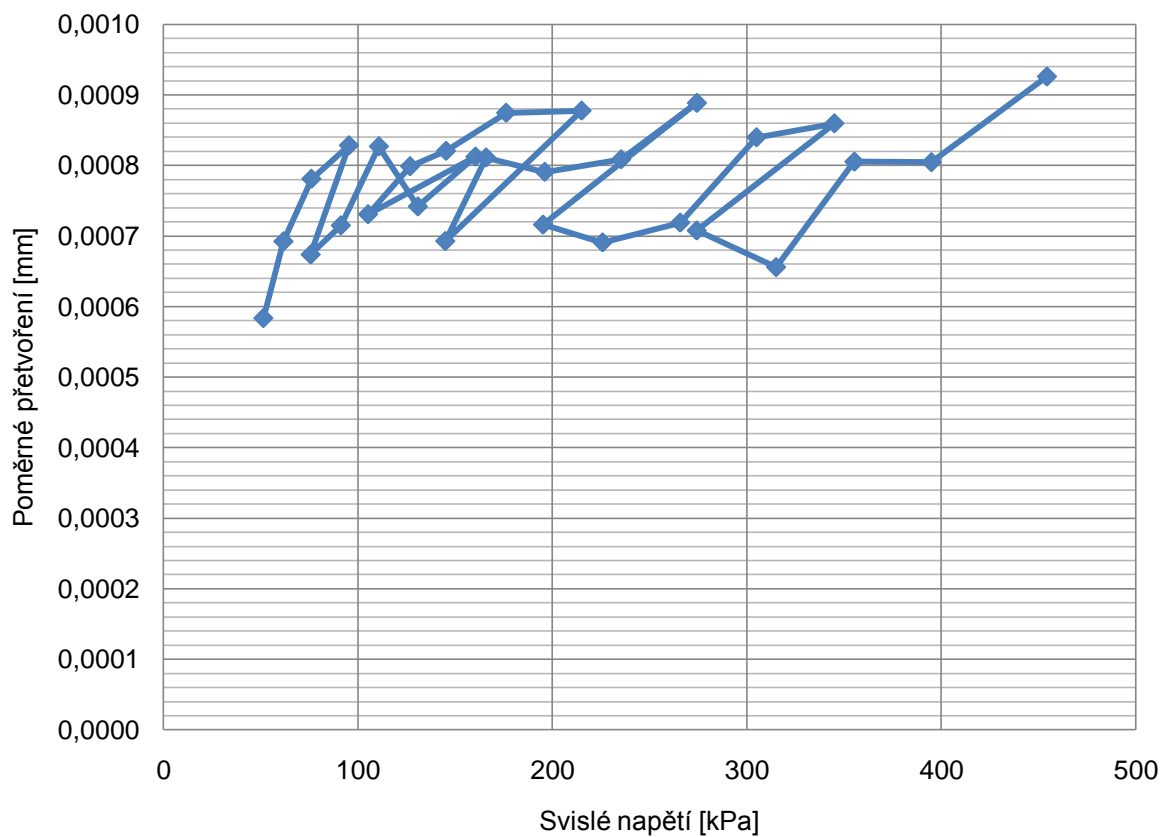
Označení směsi: II  
 Označení vzorku: II – 10

Vlhkost vzorku: 11,50 %  
 Hmotnost vzorku: 3,238 kg

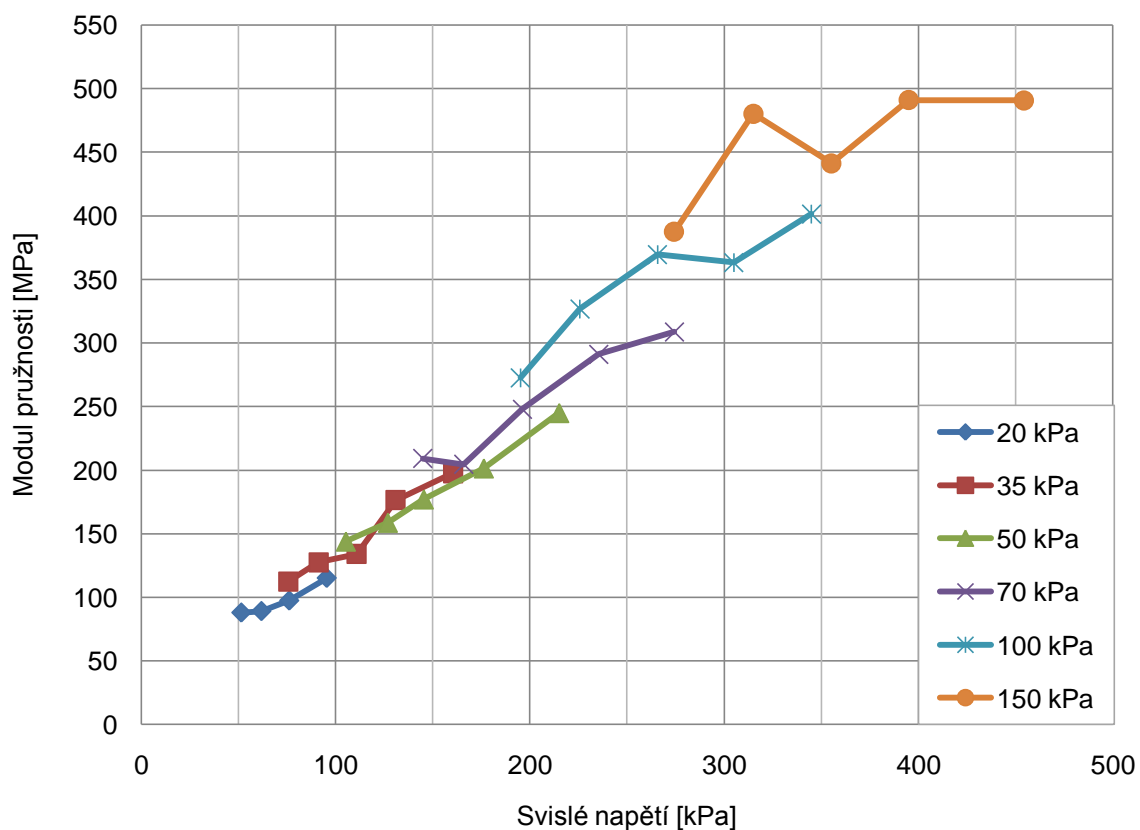
Příloha 16 Cyklická triaxiální zkouška vzorku II – 10

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI II							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20	20	40	24,25	27,11	51,37	0,0006	88,00
20	35	55	20,36	41,36	61,73	0,0007	89,16
20	50	70	19,89	56,20	76,08	0,0008	97,43
20	70	90	19,84	75,56	95,40	0,0008	115,18
35	35	70	34,23	41,48	75,71	0,0007	112,38
35	50	85	35,15	56,09	91,24	0,0007	127,62
35	70	105	34,81	75,97	110,79	0,0008	133,98
35	90	125	34,98	95,85	130,83	0,0007	176,38
35	120	155	35,05	125,41	160,46	0,0008	197,54
50	50	100	48,96	56,25	105,21	0,0007	143,98
50	70	120	50,18	76,64	126,82	0,0008	158,78
50	90	140	49,93	95,40	145,33	0,0008	177,13
50	120	170	50,16	126,06	176,21	0,0009	201,53
50	160	210	50,03	164,99	215,02	0,0009	245,05
70	70	140	69,02	75,90	144,92	0,0007	209,19
70	90	160	69,80	96,11	165,91	0,0008	204,55
70	120	190	70,11	125,98	196,09	0,0008	247,97
70	160	230	69,94	165,45	235,38	0,0008	291,12
70	200	270	69,98	204,34	274,32	0,0009	308,80
100	90	190	98,90	96,29	195,19	0,0007	272,60
100	120	220	100,03	125,77	225,80	0,0007	326,85
100	160	260	100,07	165,65	265,72	0,0007	369,61
100	200	300	99,89	205,08	304,97	0,0008	363,21
100	240	340	100,00	245,01	345,01	0,0009	401,43
150	120	270	148,24	125,97	274,21	0,0007	387,48
150	160	310	149,78	165,26	315,03	0,0007	480,36
150	200	350	150,04	205,27	355,31	0,0008	441,29
150	240	390	150,13	244,78	394,92	0,0008	490,95
150	300	450	149,90	304,42	454,31	0,00	490,74

Příloha 17 Pracovní diagram vzorku II – 10



Příloha 18 Modul pružnosti vzorku II – 10



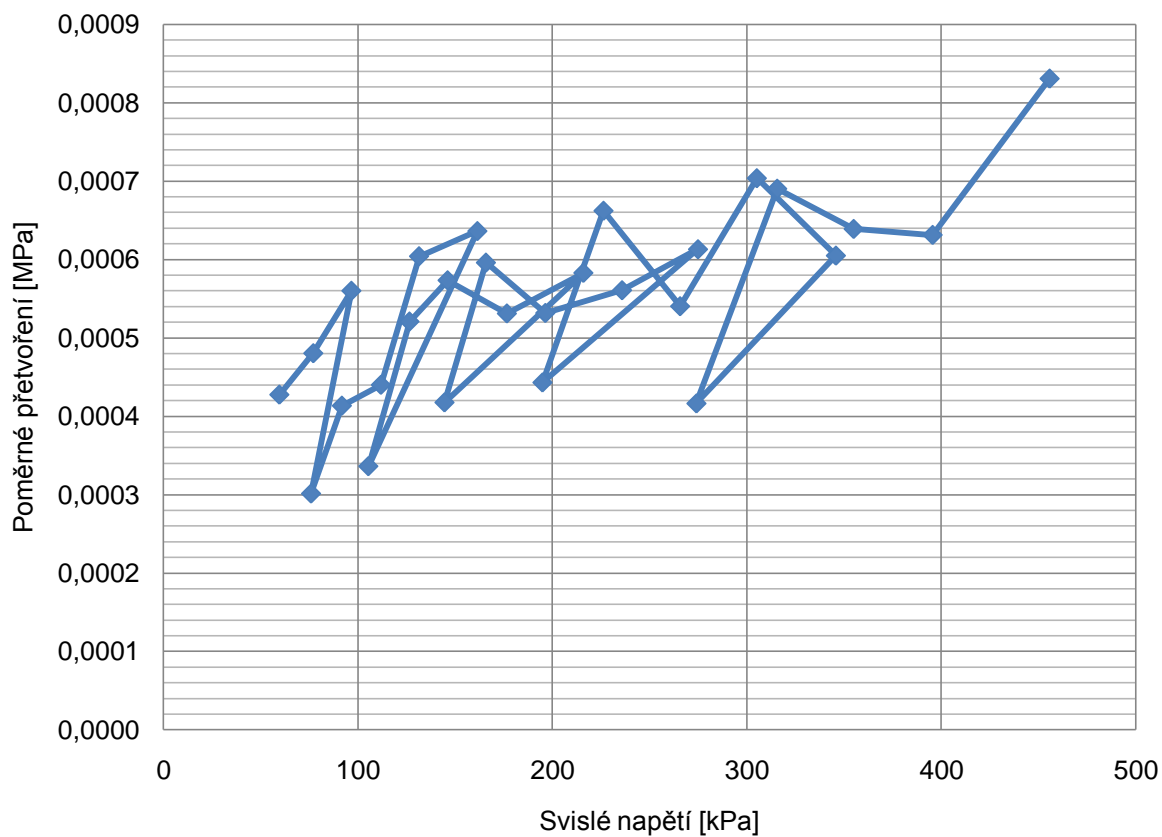
Označení směsi: II  
 Označení vzorku: II – 11

Vlhkost vzorku: 11,25 %  
 Hmotnost vzorku: 3,277 kg

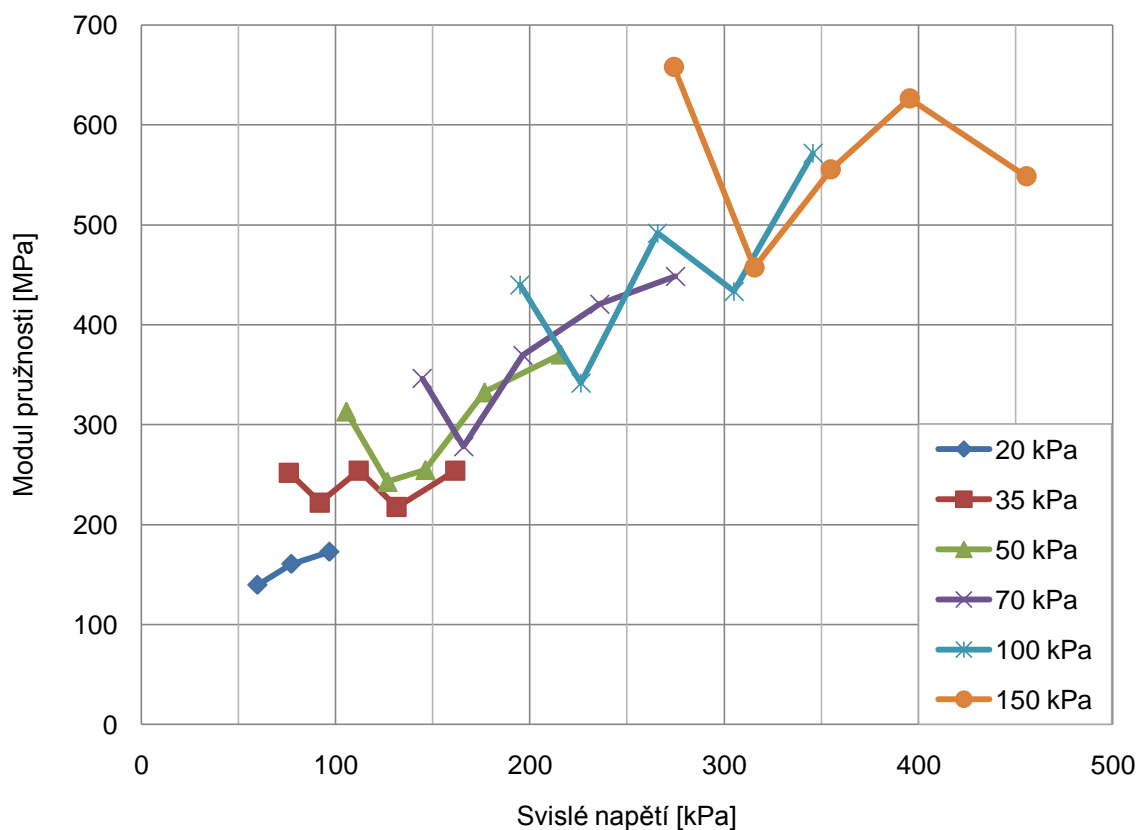
Příloha 19 Cyklická triaxiální zkouška vzorku II – 11

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI II							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>28,11</b>	<b>18,52</b>	<b>46,63</b>	<b>0,0000</b>	<b>-4103,06</b>
20	35	55	18,49	41,20	59,68	0,0004	139,57
20	50	70	20,47	56,67	77,14	0,0005	160,56
20	70	90	19,67	77,05	96,72	0,0006	172,68
35	35	70	34,26	41,72	75,98	0,0003	252,07
35	50	85	34,57	57,25	91,82	0,0004	222,04
35	70	105	34,97	76,93	111,89	0,0004	254,23
35	90	125	34,99	96,50	131,48	0,0006	217,63
35	120	155	35,32	126,16	161,48	0,0006	253,80
50	50	100	48,72	56,70	105,42	0,0003	313,41
50	70	120	49,93	76,64	126,57	0,0005	242,97
50	90	140	50,03	96,14	146,17	0,0006	254,89
50	120	170	50,05	126,59	176,65	0,0005	332,56
50	160	210	50,08	165,89	215,97	0,0006	370,49
70	70	140	68,89	75,69	144,58	0,0004	346,13
70	90	160	69,91	95,96	165,87	0,0006	278,29
70	120	190	70,20	126,21	196,41	0,0005	369,35
70	160	230	69,87	166,00	235,87	0,0006	420,63
70	200	270	69,90	205,01	274,91	0,0006	448,42
100	90	190	98,90	96,04	194,94	0,0004	439,92
100	120	220	99,95	126,38	226,33	0,0007	341,80
100	160	260	99,82	165,89	265,70	0,0005	491,69
100	200	300	100,18	204,96	305,14	0,0007	433,63
100	240	340	100,06	245,73	345,78	0,0006	571,60
150	120	270	147,91	126,19	274,10	0,0004	658,28
150	160	310	149,93	165,68	315,61	0,0007	457,19
150	200	350	149,95	204,97	354,92	0,0006	555,47
150	240	390	149,93	245,59	395,51	0,0006	626,45
150	300	450	150,05	305,60	455,65	0,00	548,47

Příloha 20 Pracovní diagram vzorku II – 11



Příloha 21 Modul pružnosti vzorku II – 11



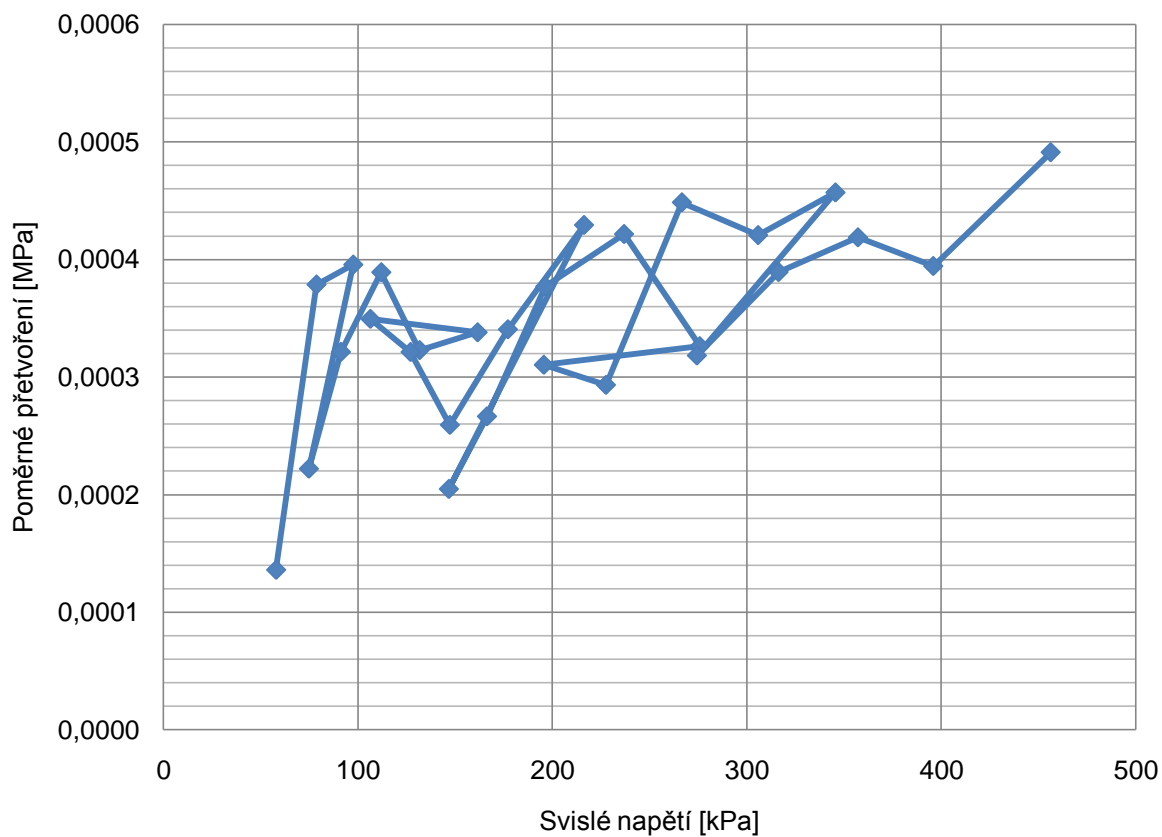
Označení směsi: II  
 Označení vzorku: II – 12

Vlhkost vzorku: 11,52 %  
 Hmotnost vzorku: 3,285 kg

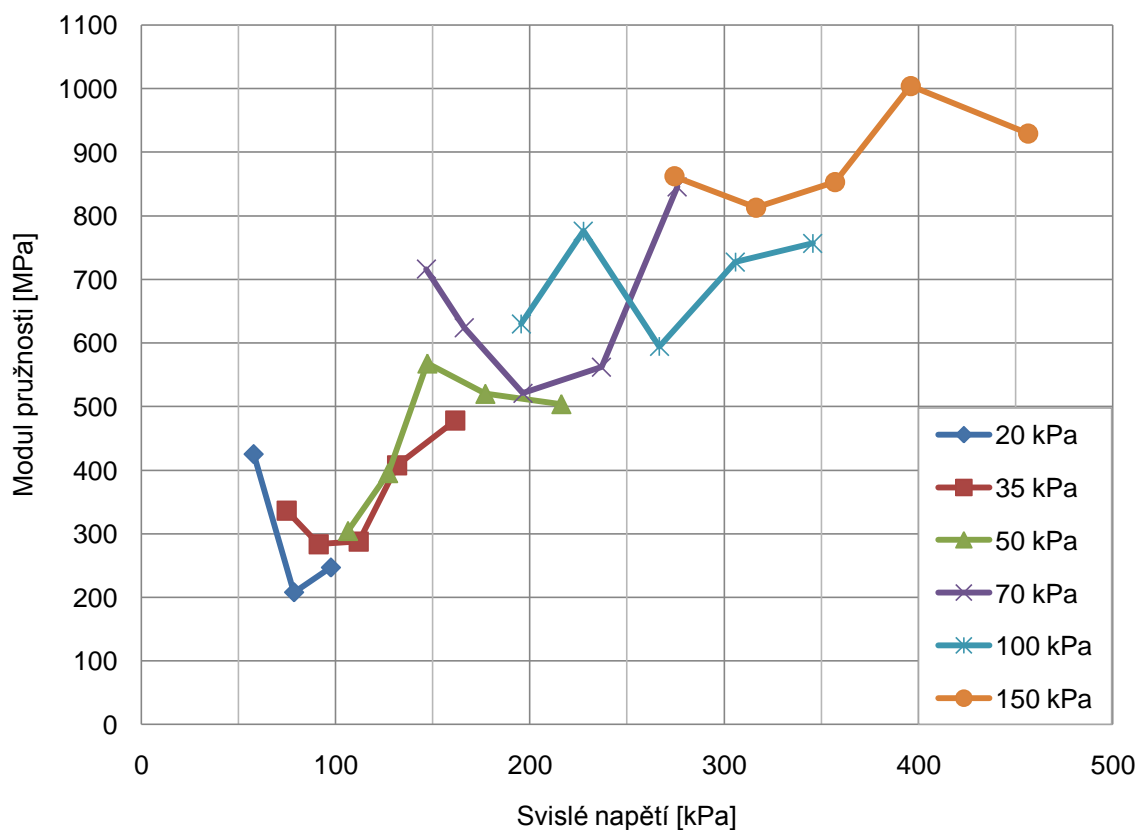
Příloha 22 Cyklická triaxiální zkouška vzorku II – 12

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI II							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>28,94</b>	<b>18,88</b>	<b>47,83</b>	<b>-0,0001</b>	<b>-527,47</b>
20	35	55	18,96	38,89	57,84	0,0001	424,86
20	50	70	20,56	58,07	78,63	0,0004	207,66
20	70	90	20,09	77,46	97,55	0,0004	246,60
35	35	70	34,25	40,46	74,70	0,0002	336,35
35	50	85	33,73	57,47	91,20	0,0003	283,80
35	70	105	34,95	77,01	111,96	0,0004	287,77
35	90	125	35,27	96,43	131,70	0,0003	407,89
35	120	155	34,88	126,65	161,53	0,0003	477,89
50	50	100	48,89	57,46	106,35	0,0003	304,34
50	70	120	49,79	77,23	127,02	0,0003	395,32
50	90	140	50,41	96,84	147,25	0,0003	567,82
50	120	170	50,12	126,99	177,12	0,0003	520,09
50	160	210	49,51	166,78	216,29	0,0004	503,91
70	70	140	69,65	77,08	146,73	0,0002	716,16
70	90	160	69,56	96,77	166,33	0,0003	623,90
70	120	190	69,97	126,38	196,35	0,0004	520,86
70	160	230	70,43	166,45	236,88	0,0004	561,97
70	200	270	69,76	206,07	275,83	0,0003	845,57
100	90	190	98,37	97,23	195,60	0,0003	630,15
100	120	220	100,03	127,53	227,57	0,0003	775,88
100	160	260	100,00	166,65	266,65	0,0004	594,57
100	200	300	99,96	205,92	305,88	0,0004	727,23
100	240	340	100,04	245,64	345,68	0,0005	756,60
150	120	270	148,09	126,27	274,36	0,0003	861,89
150	160	310	150,00	166,40	316,39	0,0004	812,87
150	200	350	150,23	207,01	357,24	0,0004	853,16
150	240	390	149,78	246,21	395,99	0,0004	1004,18
150	300	450	150,10	306,33	456,43	0,00	929,47

Příloha 23 Pracovní diagram vzorku II – 12



Příloha 24 Modul pružnosti vzorku II – 12



**SMĚS III – 10**

Označení směsi: III – 10

Vlhkost vzorku: 12,13 %

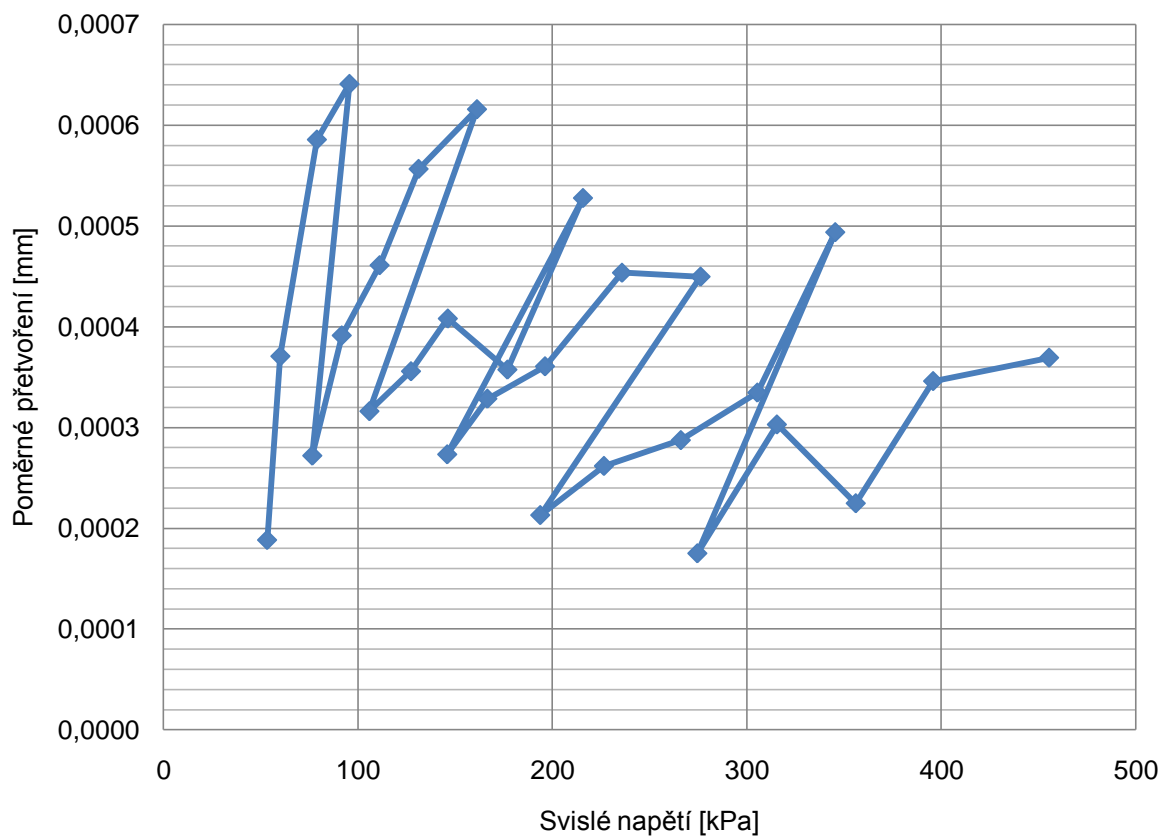
Označení vzorku: III – 9 – 10

Hmotnost vzorku: 3,201 kg

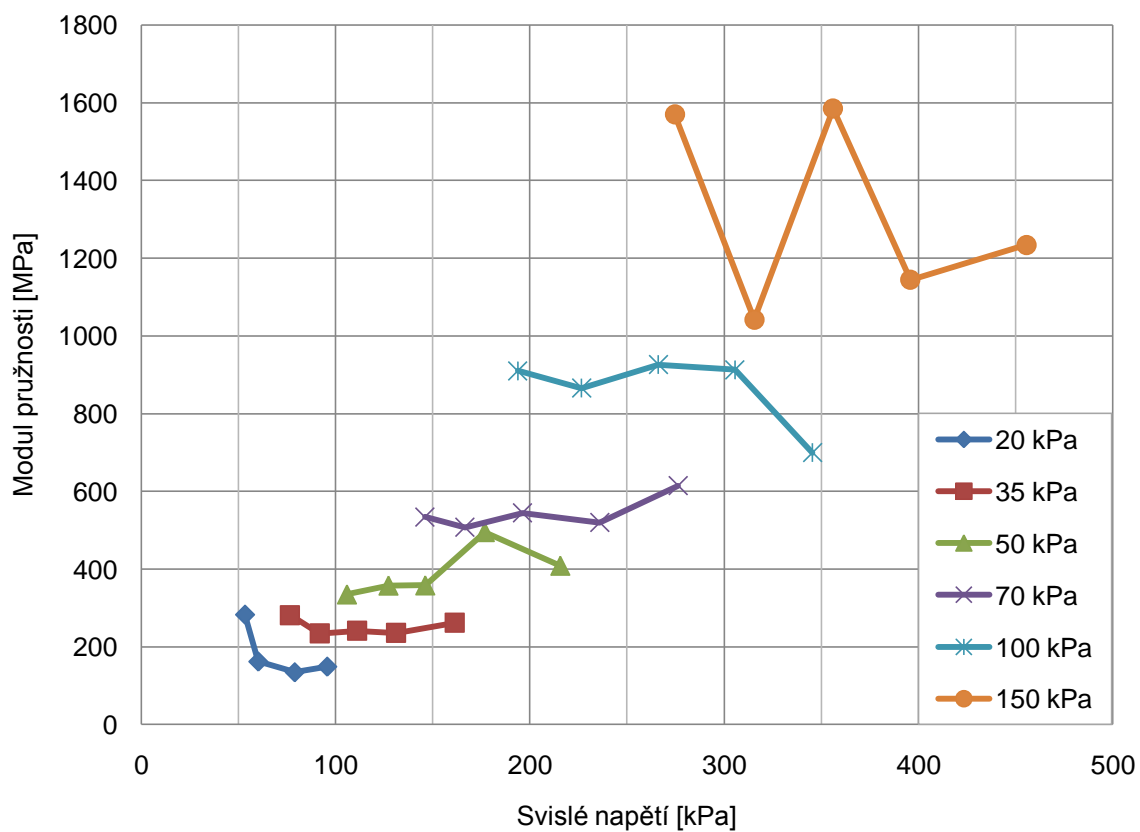
*Příloha 25 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 9 – 10*

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI III – 10							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20	20	40	26,99	26,29	53,28	0,0002	283,10
20	35	55	18,16	41,98	60,13	0,0004	162,24
20	50	70	21,52	57,39	78,91	0,0006	134,71
20	70	90	19,25	76,41	95,66	0,0006	149,23
35	35	70	34,48	42,07	76,55	0,0003	281,49
35	50	85	34,84	56,86	91,71	0,0004	234,35
35	70	105	34,93	76,24	111,18	0,0005	241,16
35	90	125	34,94	96,28	131,22	0,0006	235,74
35	120	155	34,61	126,66	161,27	0,0006	261,83
50	50	100	49,16	56,79	105,95	0,0003	335,20
50	70	120	50,44	76,89	127,33	0,0004	357,93
50	90	140	49,61	96,66	146,26	0,0004	358,42
50	120	170	50,35	126,58	176,93	0,0004	495,09
50	160	210	49,77	166,03	215,80	0,0005	408,89
70	70	140	69,25	76,70	145,96	0,0003	534,16
70	90	160	70,03	96,58	166,61	0,0003	507,17
70	120	190	70,01	126,26	196,27	0,0004	544,23
70	160	230	70,03	165,84	235,87	0,0005	520,04
70	200	270	69,98	206,31	276,29	0,0004	614,38
100	90	190	98,38	95,43	193,81	0,0002	910,19
100	120	220	100,29	126,28	226,58	0,0003	865,72
100	160	260	99,91	166,23	266,15	0,0003	926,20
100	200	300	99,84	205,67	305,50	0,0003	913,15
100	240	340	100,03	245,54	345,57	0,0005	699,78
150	120	270	148,24	126,40	274,64	0,0002	1569,71
150	160	310	149,76	165,79	315,55	0,0003	1041,79
150	200	350	150,23	205,91	356,14	0,0002	1585,15
150	240	390	149,86	246,06	395,92	0,0003	1144,38
150	300	450	149,98	305,60	455,59	0,00	1233,89

Příloha 26 Pracovní diagram vzorku III – 9 – 10



Příloha 27 Modul pružnosti vzorku III – 9 – 10



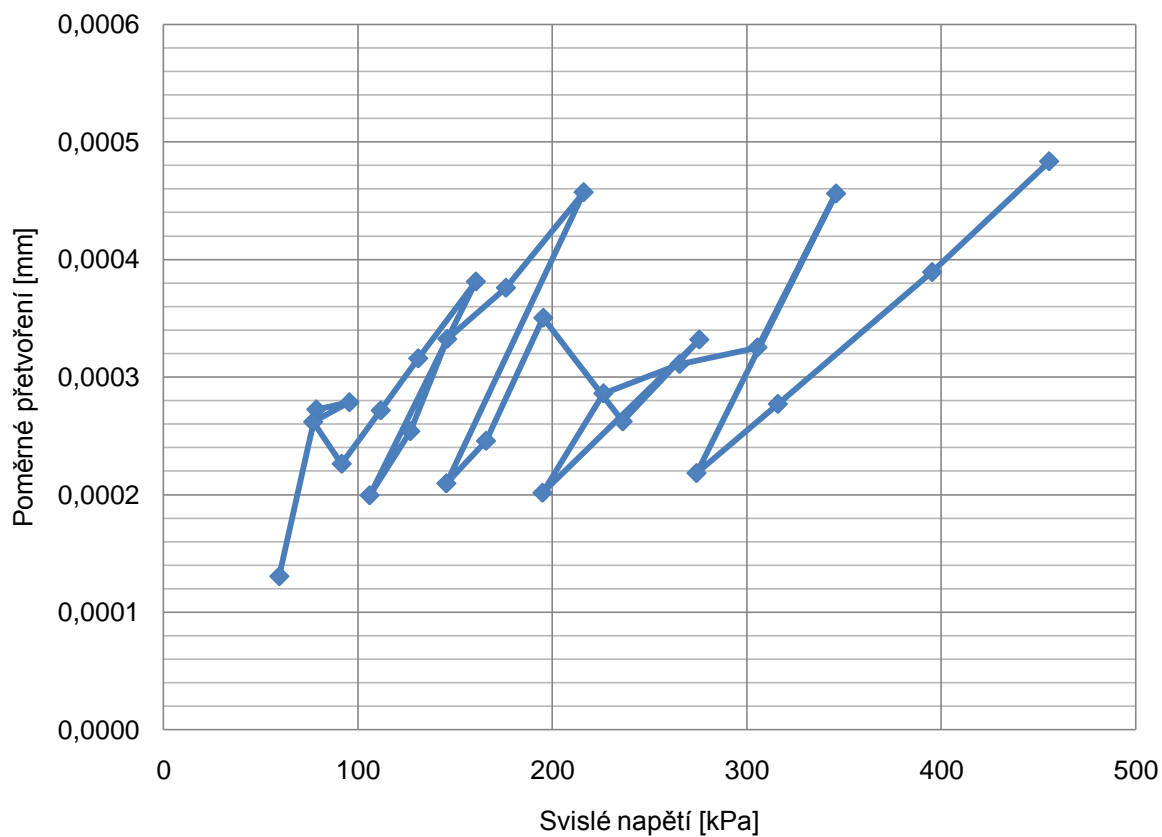
Označení směsi: III – 10  
 Označení vzorku: III – 10 – 10

Vlhkost vzorku: 13,08 %  
 Hmotnost vzorku: 3,302 kg

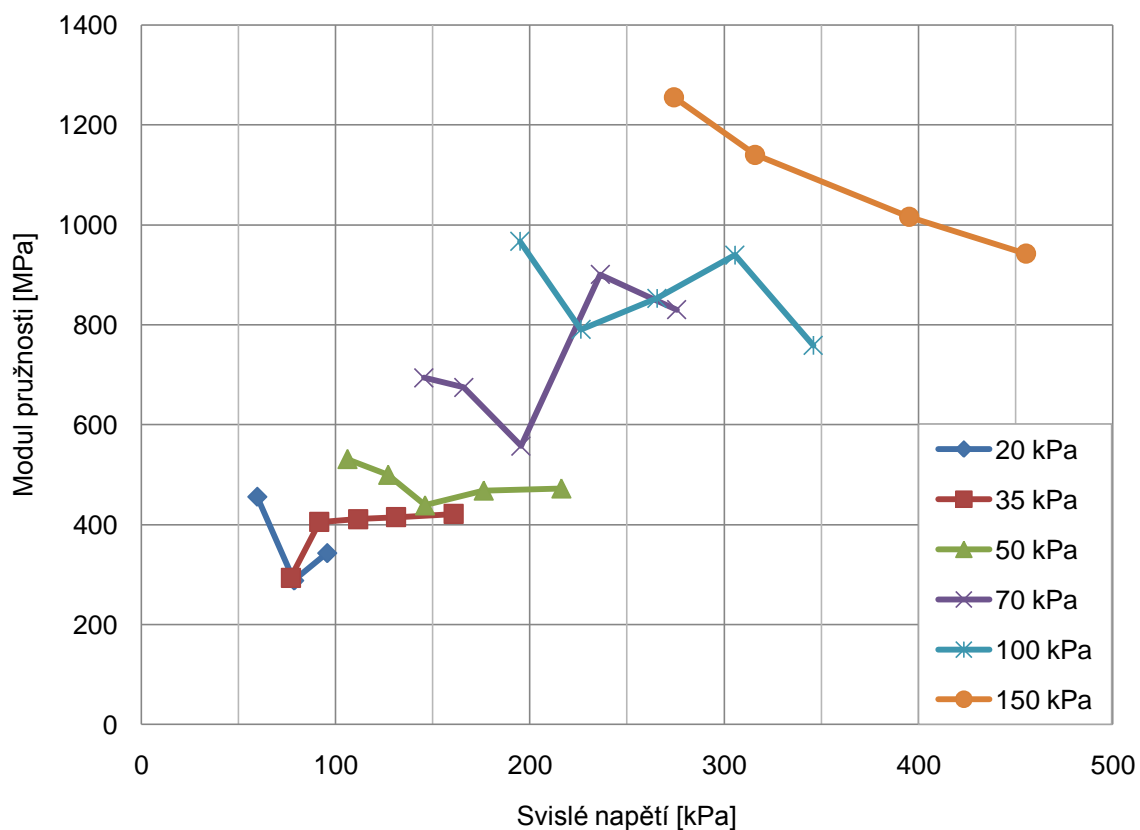
Příloha 28 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 10 – 10

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI III							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>27,44</b>	<b>19,89</b>	<b>47,33</b>	<b>0,0000</b>	<b>5137,41</b>
20	35	55	18,24	41,33	59,57	0,0001	456,17
20	50	70	21,47	57,11	78,58	0,0003	288,38
20	70	90	18,68	76,94	95,62	0,0003	343,33
35	35	70	34,91	42,06	76,97	0,0003	293,99
35	50	85	35,08	56,57	91,65	0,0002	405,14
35	70	105	34,97	76,73	111,70	0,0003	411,28
35	90	125	34,82	96,18	131,00	0,0003	414,76
35	120	155	34,72	125,94	160,67	0,0004	421,48
50	50	100	49,20	56,80	106,00	0,0002	531,48
50	70	120	50,45	76,50	126,95	0,0003	499,96
50	90	140	49,61	96,31	145,92	0,0003	438,97
50	120	170	50,32	125,81	176,12	0,0004	468,51
50	160	210	49,88	166,22	216,11	0,0005	472,71
70	70	140	69,13	76,36	145,48	0,0002	694,25
70	90	160	70,07	95,80	165,88	0,0002	675,04
70	120	190	69,97	125,39	195,36	0,0004	557,58
70	160	230	70,02	166,19	236,21	0,0003	900,80
70	200	270	70,01	205,59	275,60	0,0003	830,40
100	90	190	98,42	96,50	194,93	0,0002	967,09
100	120	220	100,30	125,97	226,26	0,0003	790,70
100	160	260	99,85	165,59	265,44	0,0003	853,35
100	200	300	99,86	205,65	305,51	0,0003	939,50
100	240	340	100,20	245,77	345,97	0,0005	758,62
150	120	270	147,88	126,28	274,16	0,0002	1255,71
150	160	310	150,19	165,83	316,02	0,0003	1140,45
<b>150</b>	<b>200</b>	<b>350</b>	<b>149,85</b>	<b>205,54</b>	<b>355,39</b>	<b>0,0002</b>	<b>1557,98</b>
150	240	390	149,96	245,39	395,35	0,0004	1015,72
150	300	450	150,02	305,52	455,54	0,00	942,24

Příloha 29 Pracovní diagram vzorku III – 10 – 10



Příloha 30 Modul pružnosti vzorku III – 10 – 10



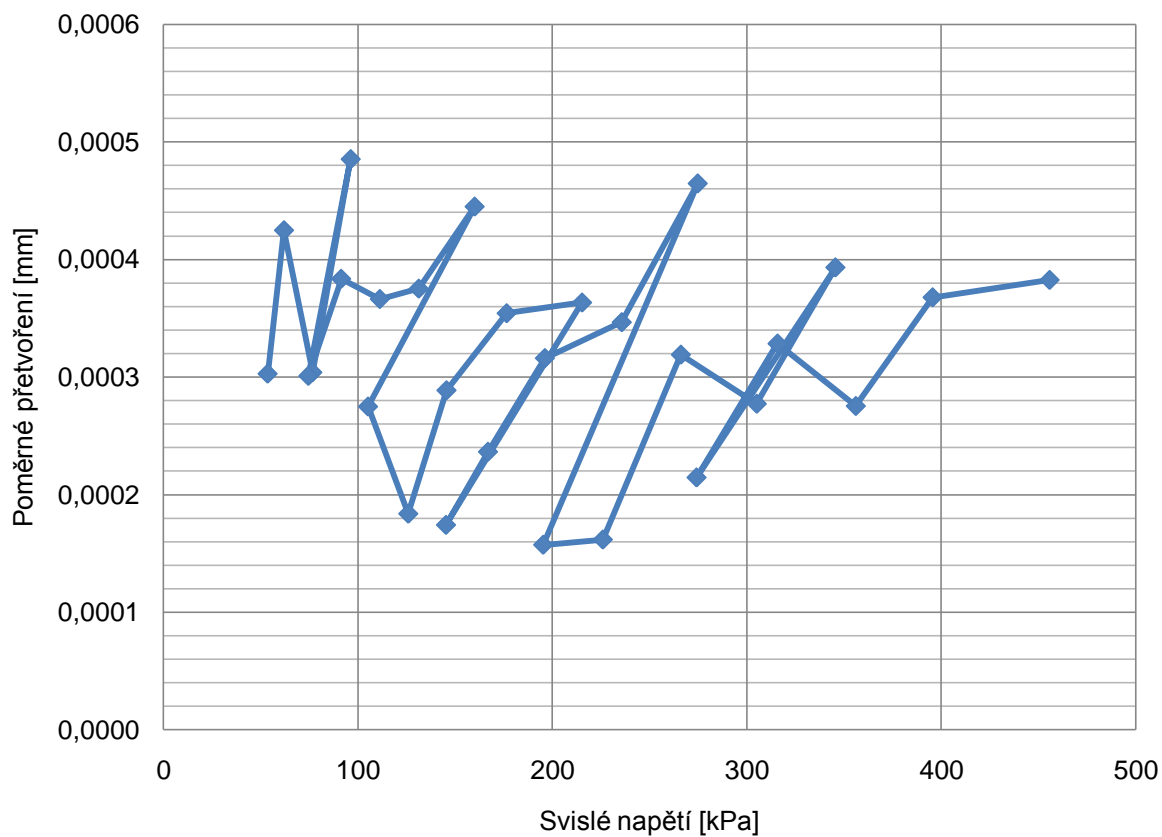
Označení směsi: III – 10  
 Označení vzorku: III – 11 – 10

Vlhkost vzorku: 12,97 %  
 Hmotnost vzorku: 3,330 kg

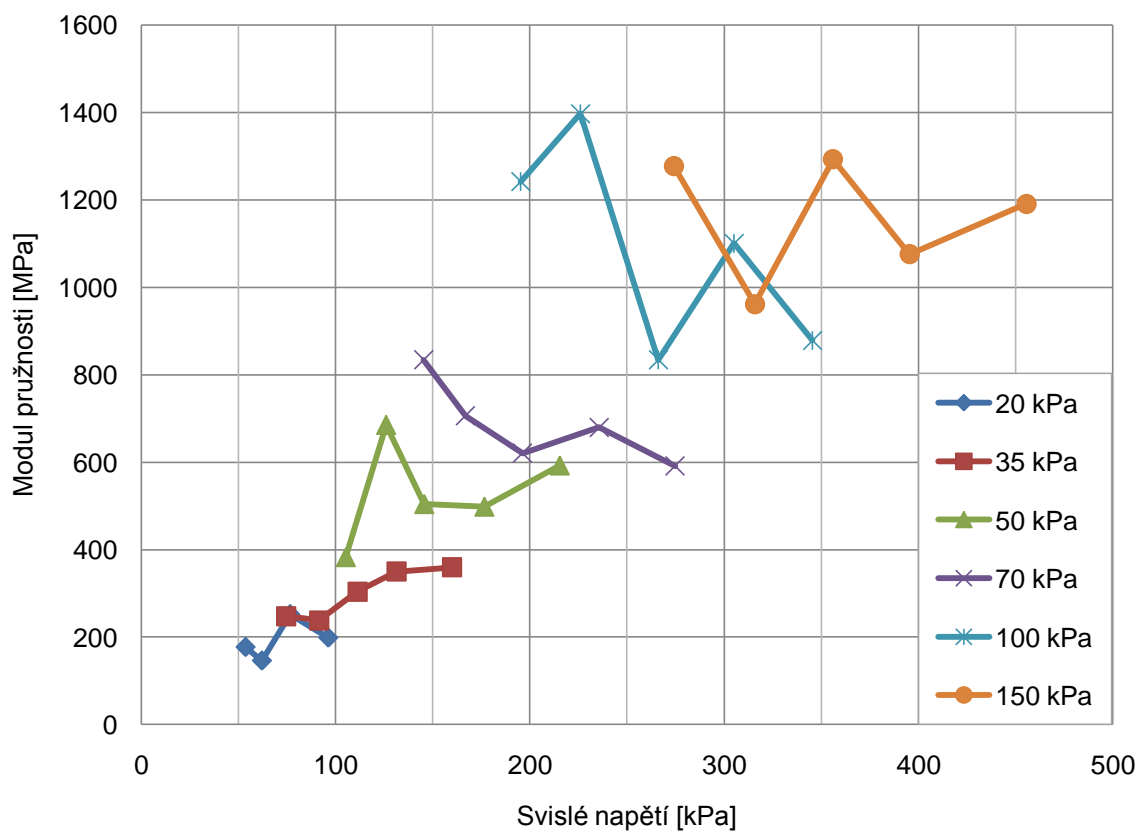
Příloha 31 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 11 – 10

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI III – 10							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,95	27,67	53,62	0,0003	177,05
20	35	55	19,52	42,54	62,06	0,0004	146,07
20	50	70	19,58	57,05	76,63	0,0003	252,10
20	70	90	19,90	76,44	96,34	0,0005	198,49
35	35	70	33,60	40,96	74,56	0,0003	247,74
35	50	85	35,48	55,95	91,43	0,0004	238,36
35	70	105	34,73	76,58	111,31	0,0004	303,83
35	90	125	35,29	96,04	131,33	0,0004	350,04
35	120	155	35,02	125,04	160,06	0,0004	359,69
50	50	100	49,16	56,08	105,24	0,0003	382,87
50	70	120	49,97	75,97	125,94	0,0002	685,52
50	90	140	50,02	95,57	145,59	0,0003	504,28
50	120	170	49,94	126,59	176,53	0,0004	498,33
50	160	210	49,82	165,50	215,32	0,0004	592,58
70	70	140	69,04	76,30	145,34	0,0002	834,35
70	90	160	70,30	96,62	166,92	0,0002	706,06
70	120	190	69,72	126,48	196,20	0,0003	620,70
70	160	230	70,27	165,45	235,72	0,0003	680,06
70	200	270	69,78	204,98	274,76	0,0005	591,27
100	90	190	98,90	96,40	195,30	0,0002	1241,66
100	120	220	99,80	126,18	225,99	0,0002	1397,18
100	160	260	100,31	165,80	266,11	0,0003	834,12
100	200	300	99,72	205,40	305,12	0,0003	1100,55
100	240	340	100,26	245,31	345,56	0,0004	878,73
150	120	270	148,06	126,11	274,17	0,0002	1277,69
150	160	310	149,78	166,03	315,81	0,0003	961,47
150	200	350	150,10	205,96	356,05	0,0003	1293,15
150	240	390	150,10	245,44	395,54	0,0004	1075,44
150	300	450	149,96	305,75	455,70	0,00	1191,05

Příloha 32 Pracovní diagram vzorku III – 11 – 10



Příloha 33 Modul pružnosti vzorku III – 11 – 10



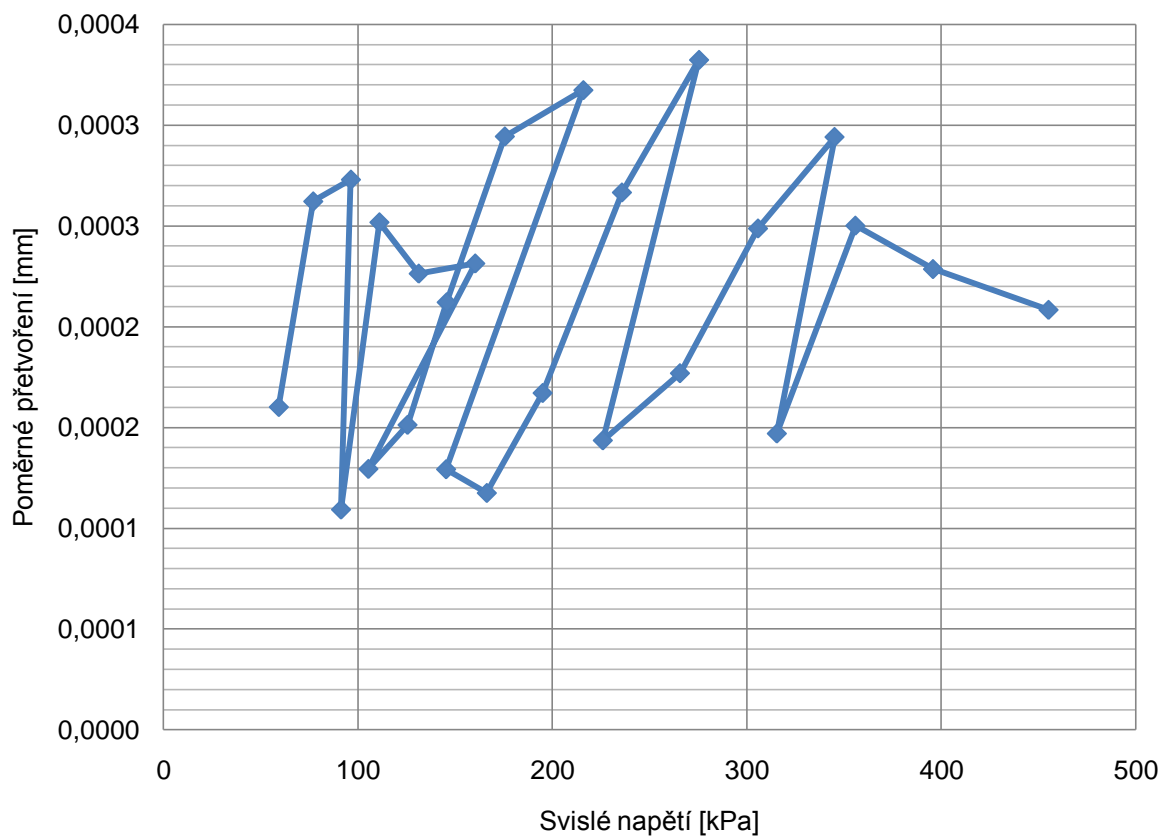
Označení směsi: III – 10  
 Označení vzorku: III – 12 – 10

Vlhkost vzorku: 12,44 %  
 Hmotnost vzorku: 3,312 kg

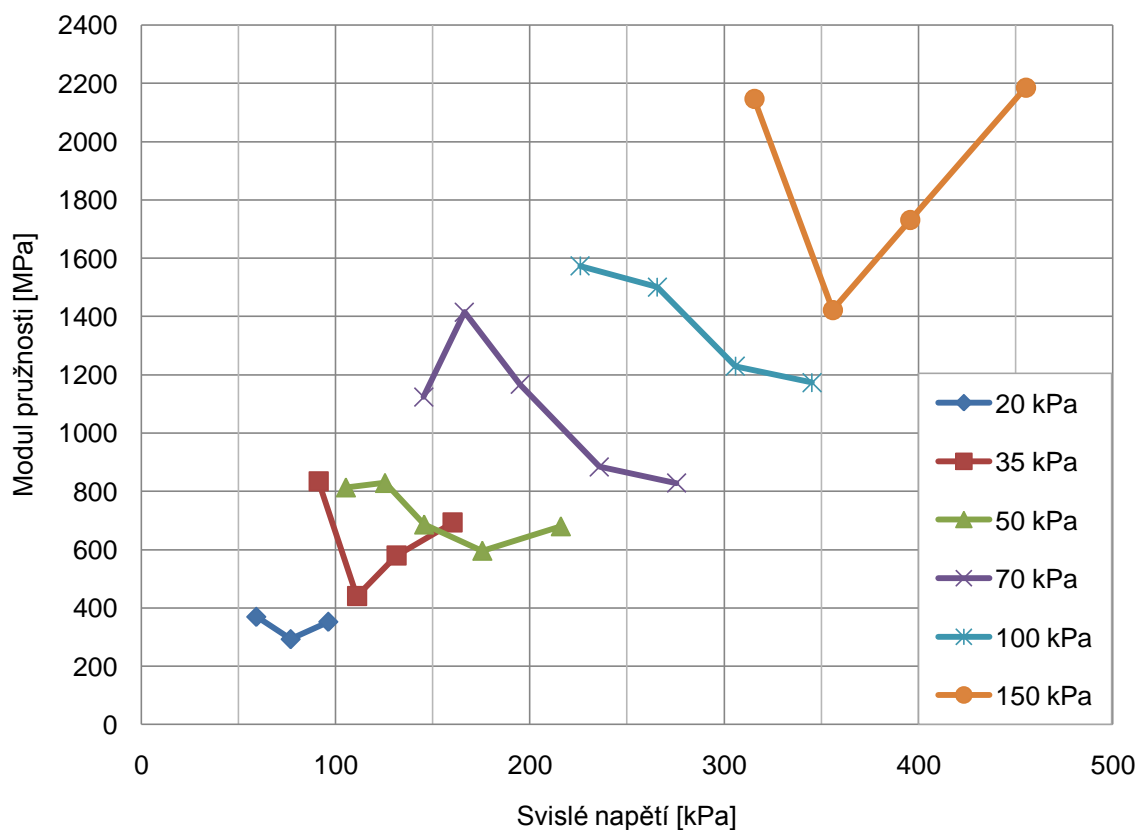
Příloha 34 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 12 – 10

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI III – 10							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>27,48</b>	<b>21,28</b>	<b>48,76</b>	<b>0,0000</b>	<b>19342,50</b>
20	35	55	18,96	40,27	59,23	0,0002	369,77
20	50	70	20,04	56,91	76,95	0,0003	293,44
20	70	90	20,43	75,92	96,35	0,0003	352,87
<b>35</b>	<b>35</b>	<b>70</b>	<b>33,22</b>	<b>40,07</b>	<b>73,29</b>	<b>0,0001</b>	<b>1237,44</b>
35	50	85	34,86	56,39	91,25	0,0001	835,11
35	70	105	35,33	75,69	111,01	0,0003	440,77
35	90	125	35,08	96,15	131,23	0,0002	579,65
35	120	155	34,93	125,38	160,32	0,0002	692,74
50	50	100	49,31	56,03	105,34	0,0001	813,89
50	70	120	49,75	75,70	125,46	0,0002	829,17
50	90	140	50,24	95,38	145,62	0,0002	686,37
50	120	170	50,02	125,52	175,54	0,0003	596,14
50	160	210	50,05	165,90	215,95	0,0003	680,26
70	70	140	68,77	76,55	145,31	0,0001	1124,23
70	90	160	69,99	96,27	166,27	0,0001	1415,14
70	120	190	70,02	124,97	194,99	0,0002	1166,76
70	160	230	70,08	165,72	235,80	0,0003	884,26
70	200	270	70,13	205,36	275,49	0,0003	828,61
<b>100</b>	<b>90</b>	<b>190</b>	<b>98,60</b>	<b>96,26</b>	<b>194,86</b>	<b>0,0001</b>	<b>2169,89</b>
100	120	220	100,16	125,79	225,95	0,0001	1573,64
100	160	260	99,80	165,85	265,65	0,0002	1501,30
100	200	300	100,09	205,74	305,82	0,0002	1229,24
100	240	340	100,17	245,02	345,19	0,0003	1173,29
<b>150</b>	<b>120</b>	<b>270</b>	<b>148,09</b>	<b>125,66</b>	<b>273,74</b>	<b>0,0001</b>	<b>3437,89</b>
150	160	310	149,85	165,66	315,51	0,0001	2146,30
150	200	350	150,03	205,88	355,91	0,0003	1422,52
150	240	390	150,16	245,70	395,86	0,0002	1731,37
150	300	450	150,03	305,30	455,33	0,00	2185,01

Příloha 35 Pracovní diagram vzorku III – 12 – 10



Příloha 36 Modul pružnosti vzorku III – 12 – 10



**SMĚS III – 15**

Označení směsi: III – 15

Vlhkost vzorku: 13,05 %

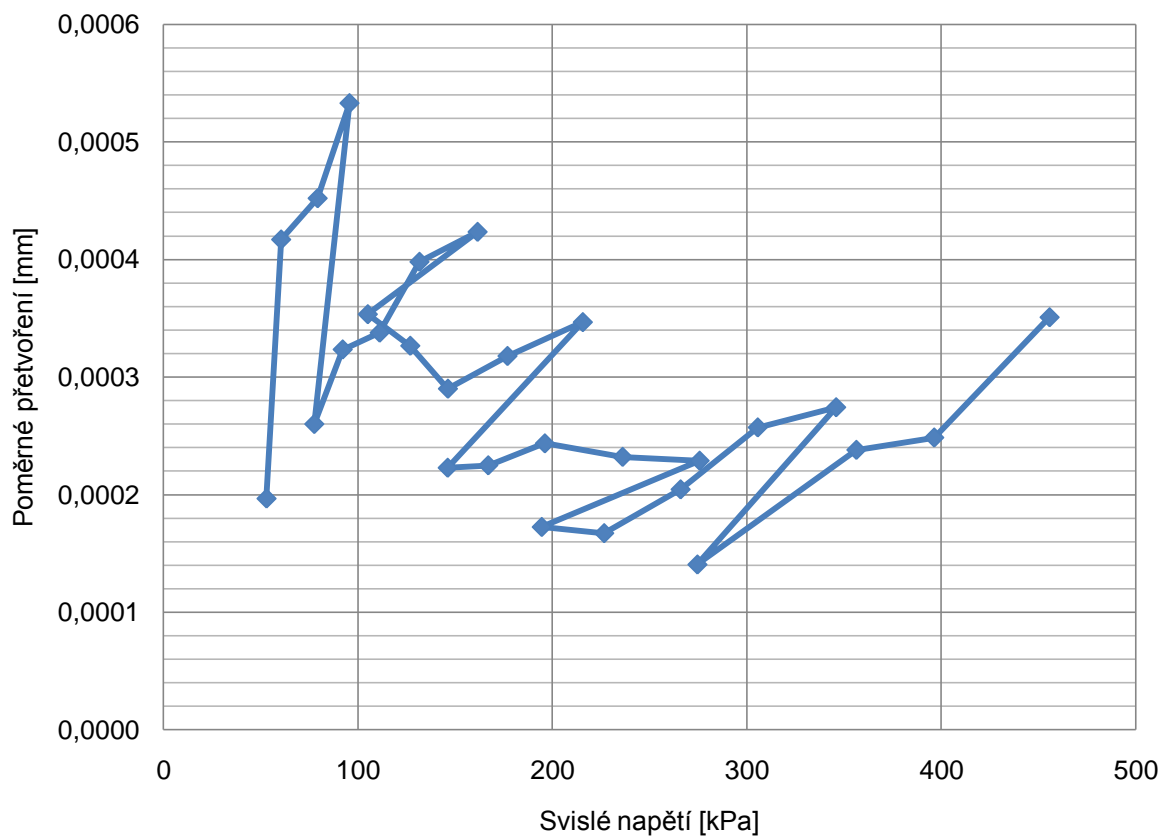
Označení vzorku: III – 9 – 15

Hmotnost vzorku: 3,284 kg

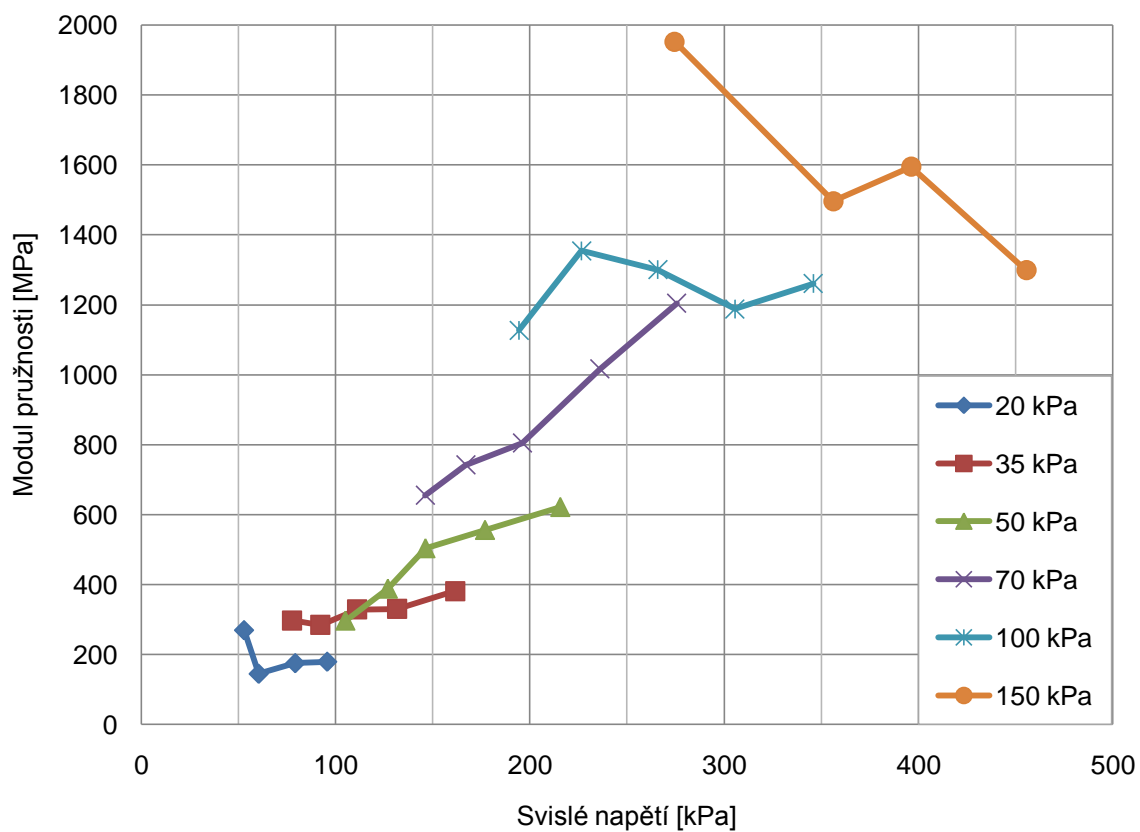
Příloha 37 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 9 – 15

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI III – 15							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20	20	40	26,38	26,56	52,94	0,0002	269,13
20	35	55	18,33	42,12	60,46	0,0004	145,03
20	50	70	21,67	57,54	79,21	0,0005	175,28
20	70	90	18,52	77,08	95,60	0,0005	179,44
35	35	70	35,06	42,44	77,50	0,0003	298,01
35	50	85	35,07	57,02	92,09	0,0003	284,76
35	70	105	34,90	76,22	111,11	0,0003	329,05
35	90	125	34,93	96,66	131,60	0,0004	330,73
35	120	155	34,69	126,77	161,46	0,0004	381,39
50	50	100	49,17	55,85	105,02	0,0004	297,21
50	70	120	50,38	76,48	126,86	0,0003	388,51
50	90	140	49,58	96,64	146,22	0,0003	504,09
50	120	170	50,38	126,47	176,85	0,0003	556,39
50	160	210	49,71	165,88	215,59	0,0003	621,97
70	70	140	69,33	76,77	146,10	0,0002	655,55
70	90	160	70,05	96,91	166,96	0,0002	742,28
70	120	190	69,99	126,09	196,07	0,0002	804,98
70	160	230	70,04	166,01	236,05	0,0002	1017,00
70	200	270	69,98	205,67	275,65	0,0002	1204,46
100	90	190	98,43	96,03	194,46	0,0002	1127,15
100	120	220	100,25	126,32	226,57	0,0002	1354,63
100	160	260	99,92	165,94	265,86	0,0002	1300,21
100	200	300	99,84	205,72	305,55	0,0003	1188,22
100	240	340	99,94	245,92	345,86	0,0003	1261,00
150	120	270	148,28	126,24	274,52	0,0001	1952,15
<b>150</b>	<b>160</b>	<b>310</b>	<b>149,82</b>	<b>166,37</b>	<b>316,19</b>	<b>0,0000</b>	<b>9270,36</b>
150	200	350	150,24	206,03	356,27	0,0002	1496,56
150	240	390	149,80	246,48	396,28	0,0002	1594,37
150	300	450	149,95	305,67	455,62	0,00	1298,91

Příloha 38 Pracovní diagram vzorku III – 9 – 15



Příloha 39 Modul pružnosti vzorku III – 9 – 15



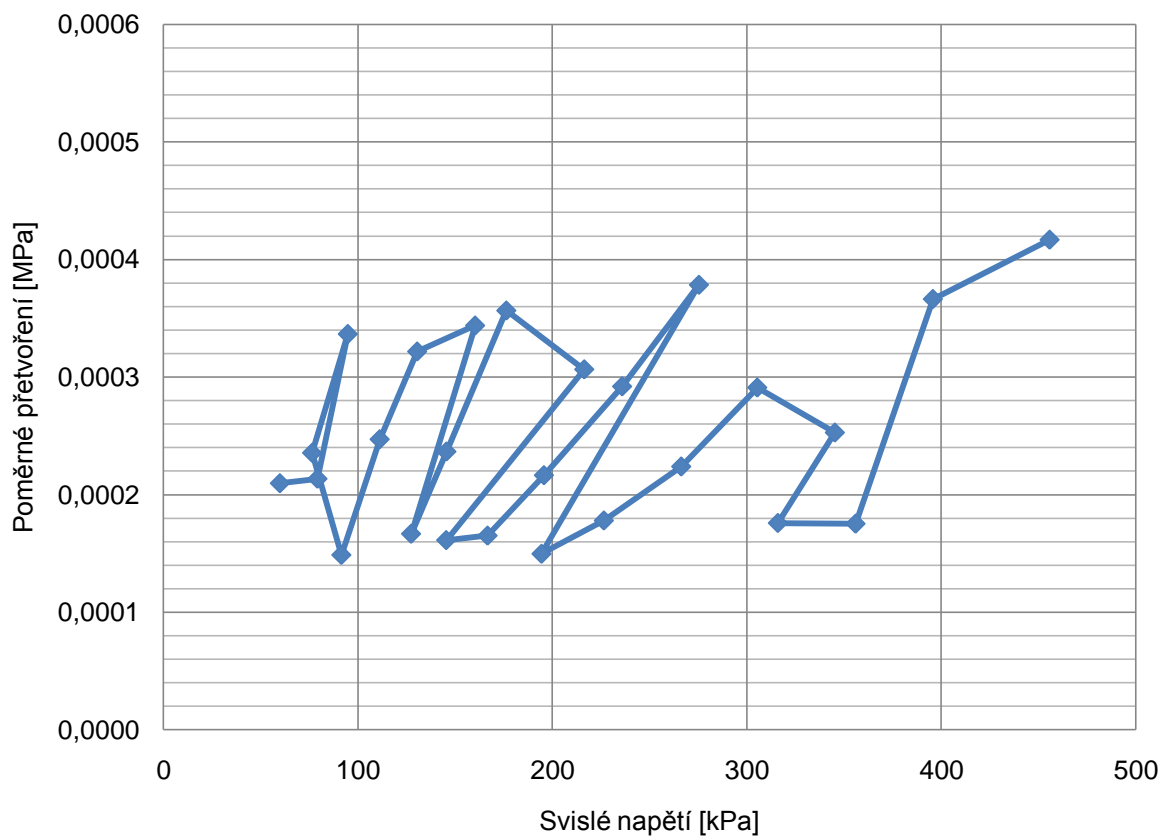
Označení směsi: III – 15  
 Označení vzorku: III – 10 – 15

Vlhkost vzorku: 11,60 %  
 Hmotnost vzorku: 3,242 kg

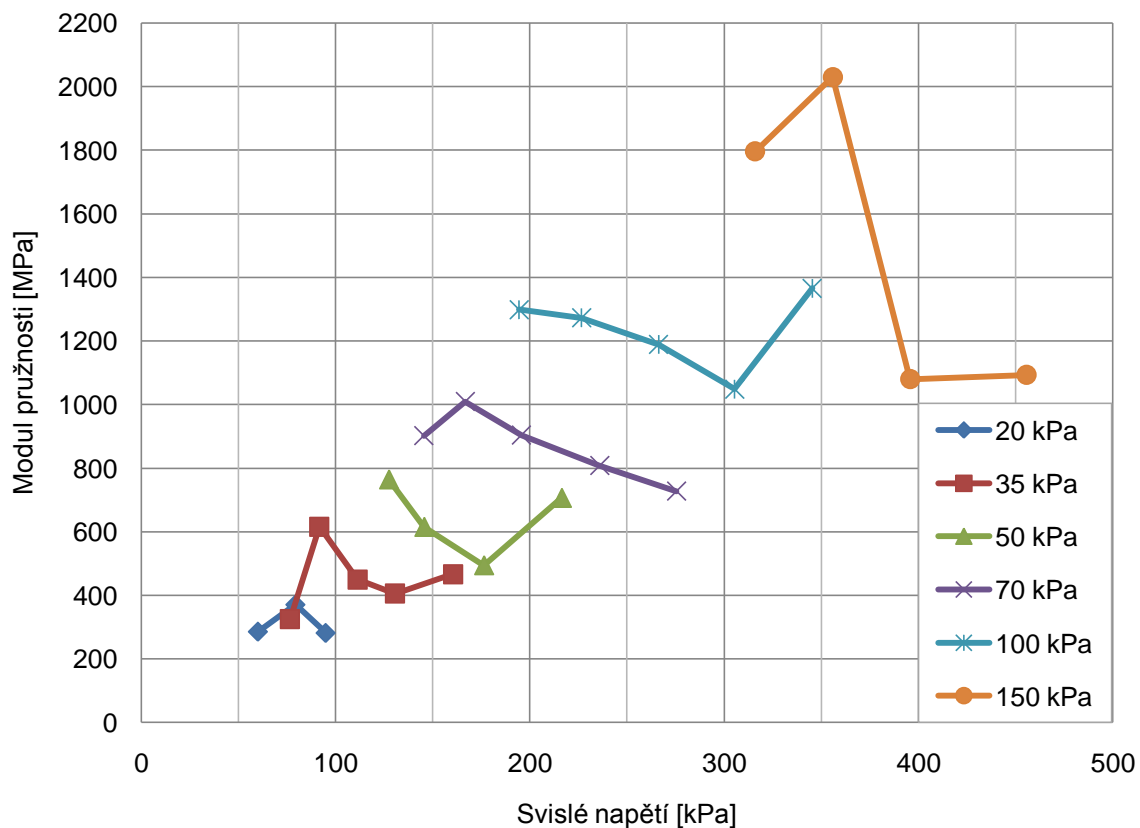
Příloha 40 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 10 – 15

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI III – 15							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20,00</b>	<b>20,00</b>	<b>40,00</b>	<b>26,93</b>	<b>22,05</b>	<b>48,98</b>	<b>0,0001</b>	<b>744,40</b>
20,00	35,00	55,00	18,06	41,91	59,97	0,0002	285,94
20,00	50,00	70,00	21,65	57,65	79,29	0,0002	371,36
20,00	70,00	90,00	18,73	76,14	94,88	0,0003	281,86
35,00	35,00	70,00	34,83	41,70	76,53	0,0002	324,89
35,00	50,00	85,00	35,01	56,56	91,57	0,0001	615,58
35,00	70,00	105,00	35,00	76,26	111,26	0,0002	450,28
35,00	90,00	125,00	34,78	95,77	130,55	0,0003	405,77
35,00	120,00	155,00	34,69	125,65	160,34	0,0003	466,35
<b>50,00</b>	<b>50,00</b>	<b>100,00</b>	<b>49,29</b>	<b>56,48</b>	<b>105,76</b>	<b>0,0001</b>	<b>1149,69</b>
50,00	70,00	120,00	50,41	77,00	127,42	0,0002	764,23
50,00	90,00	140,00	49,55	96,04	145,58	0,0002	615,18
50,00	120,00	170,00	50,30	126,09	176,39	0,0004	494,73
50,00	160,00	210,00	50,07	166,40	216,47	0,0003	706,19
70,00	70,00	140,00	68,96	76,52	145,48	0,0002	901,73
70,00	90,00	160,00	70,07	96,67	166,75	0,0002	1009,48
70,00	120,00	190,00	69,98	125,75	195,73	0,0002	903,97
70,00	160,00	230,00	70,00	165,94	235,94	0,0003	807,84
70,00	200,00	270,00	70,05	205,38	275,43	0,0004	727,85
100,00	90,00	190,00	98,29	96,18	194,48	0,0001	1299,12
100,00	120,00	220,00	100,24	126,31	226,55	0,0002	1272,71
100,00	160,00	260,00	100,13	166,19	266,32	0,0002	1189,26
100,00	200,00	300,00	99,82	205,59	305,41	0,0003	1049,17
100,00	240,00	340,00	99,85	245,47	345,32	0,0003	1365,84
<b>150,00</b>	<b>120,00</b>	<b>270,00</b>	<b>148,26</b>	<b>127,44</b>	<b>275,70</b>	<b>0,0001</b>	<b>2603,91</b>
150,00	160,00	310,00	149,96	166,06	316,02	0,0002	1796,48
150,00	200,00	350,00	150,02	205,95	355,96	0,0002	2030,36
150,00	240,00	390,00	149,86	245,85	395,71	0,0004	1080,13
150,00	300,00	450,00	150,19	305,54	455,74	0,00	1093,42

Příloha 41 Pracovní diagram vzorku III – 10 – 15



Příloha 42 Modul pružnosti vzorku III – 10 – 15



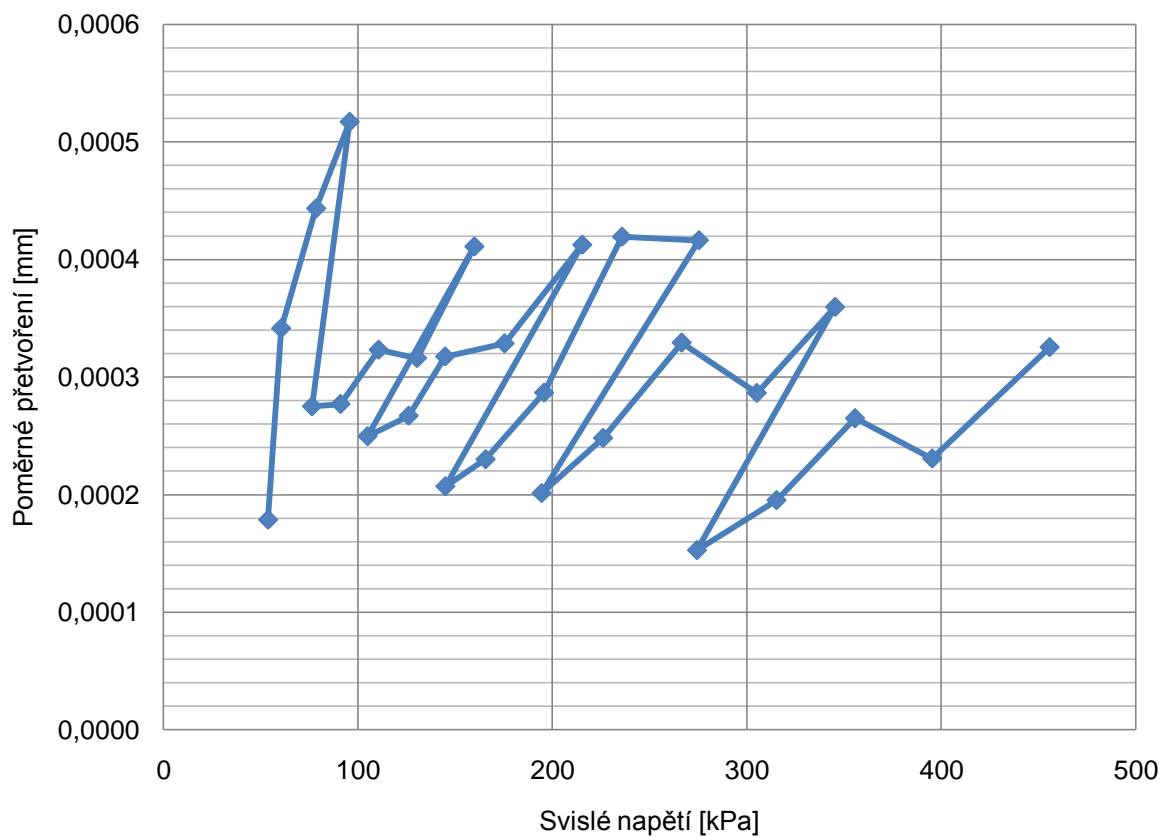
Označení směsi: III – 15  
 Označení vzorku: III – 11 – 15

Vlhkost vzorku: 12,27 %  
 Hmotnost vzorku: 3,242 kg

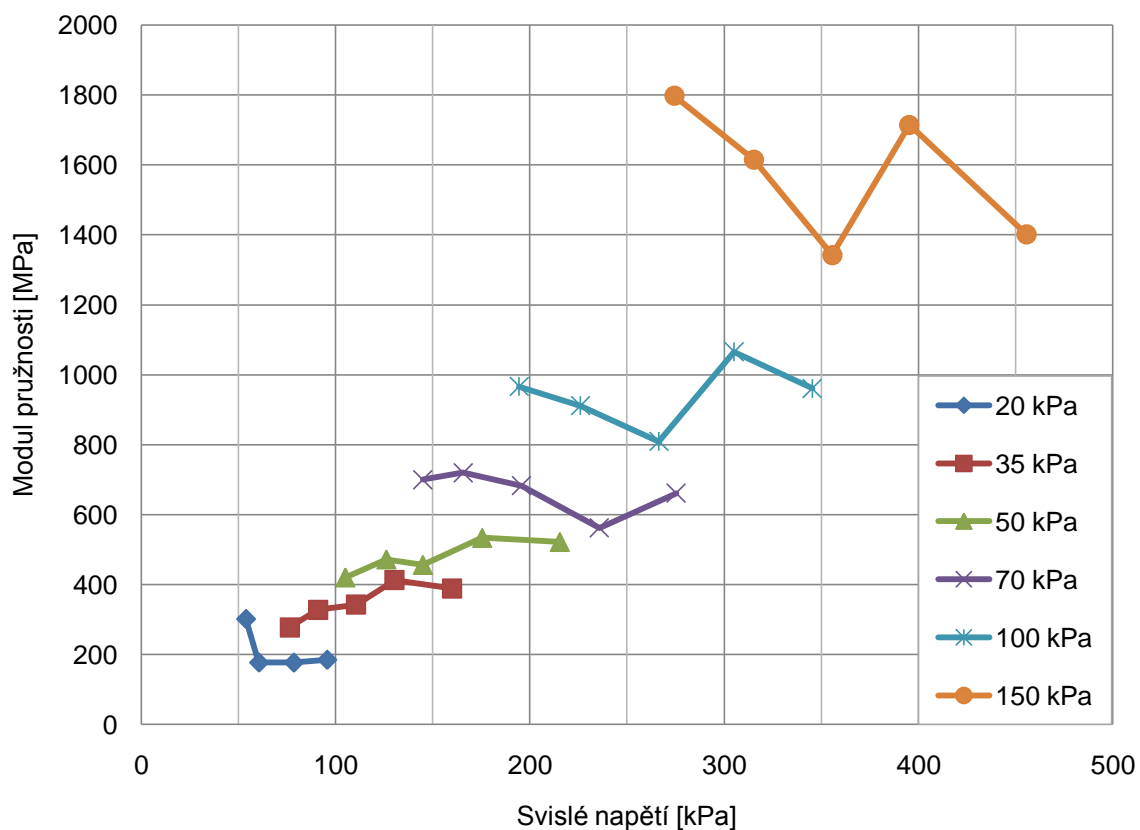
Příloha 43 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 11 – 15

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI III – 15							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20	20	40	26,84	26,94	53,78	0,0002	301,20
20	35	55	18,05	42,43	60,48	0,0003	177,16
20	50	70	21,61	56,88	78,49	0,0004	177,00
20	70	90	19,00	76,73	95,72	0,0005	185,14
35	35	70	34,74	41,60	76,34	0,0003	277,55
35	50	85	34,89	56,10	90,99	0,0003	328,51
35	70	105	34,94	75,69	110,62	0,0003	342,35
35	90	125	34,89	95,48	130,37	0,0003	412,48
35	120	155	34,61	125,25	159,86	0,0004	388,96
50	50	100	49,30	55,62	104,92	0,0002	420,39
50	70	120	50,49	75,56	126,05	0,0003	472,15
50	90	140	49,54	95,30	144,84	0,0003	456,35
50	120	170	50,25	125,15	175,40	0,0003	533,86
50	160	210	50,16	165,20	215,35	0,0004	522,17
70	70	140	68,97	75,95	144,92	0,0002	700,14
70	90	160	70,06	95,57	165,63	0,0002	720,23
70	120	190	70,02	125,72	195,75	0,0003	682,83
70	160	230	70,00	165,82	235,81	0,0004	562,47
70	200	270	70,01	205,36	275,37	0,0004	661,42
100	90	190	98,36	96,07	194,43	0,0002	966,56
100	120	220	100,22	125,83	226,05	0,0002	911,24
100	160	260	100,14	166,33	266,47	0,0003	809,32
100	200	300	99,88	205,27	305,15	0,0003	1065,47
100	240	340	99,78	245,63	345,41	0,0004	960,69
150	120	270	148,41	125,97	274,38	0,0002	1797,48
150	160	310	149,80	165,49	315,29	0,0002	1615,27
150	200	350	150,20	205,46	355,66	0,0003	1342,65
150	240	390	149,75	245,64	395,39	0,0002	1714,55
150	300	450	150,08	305,67	455,75	0,00	1400,70

Příloha 44 Pracovní diagram vzorku III – 11 – 15



Příloha 45 Modul pružnosti vzorku III – 11 – 15



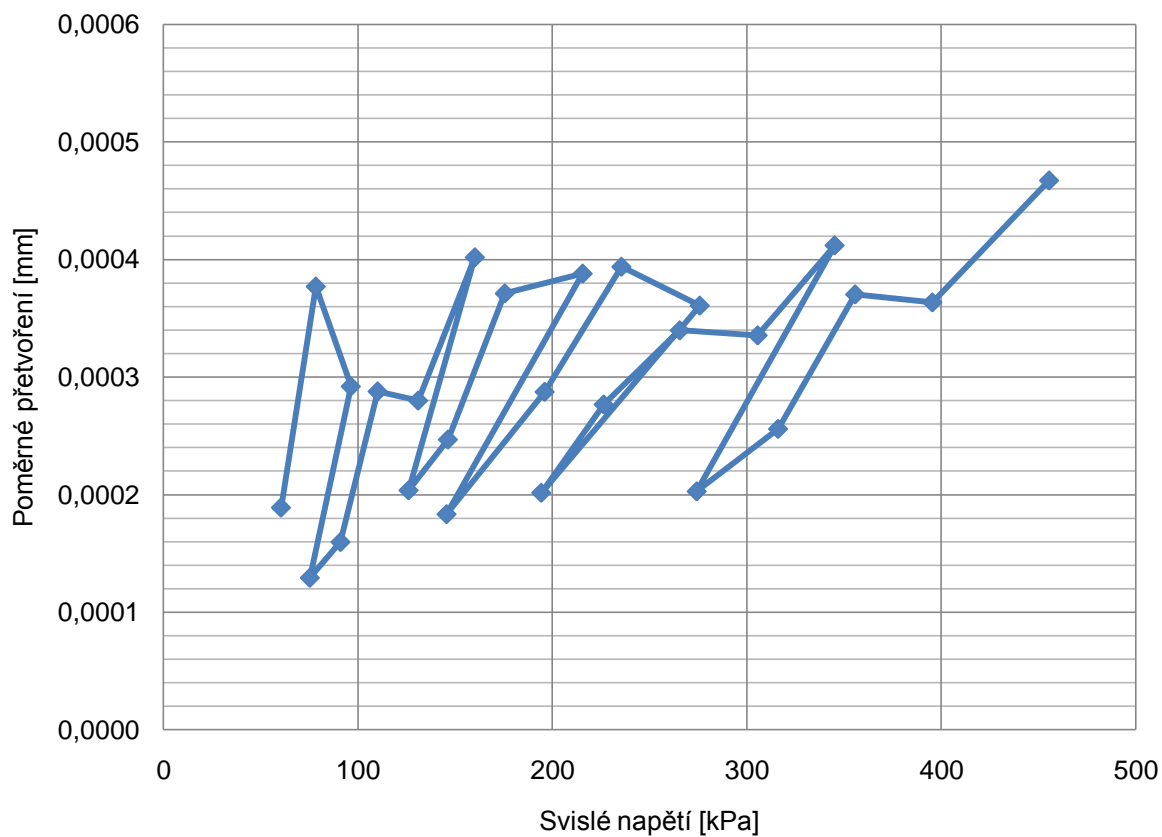
Označení směsi: III – 15  
 Označení vzorku: III – 12 – 15

Vlhkost vzorku: 12,66 %  
 Hmotnost vzorku: 3,191 kg

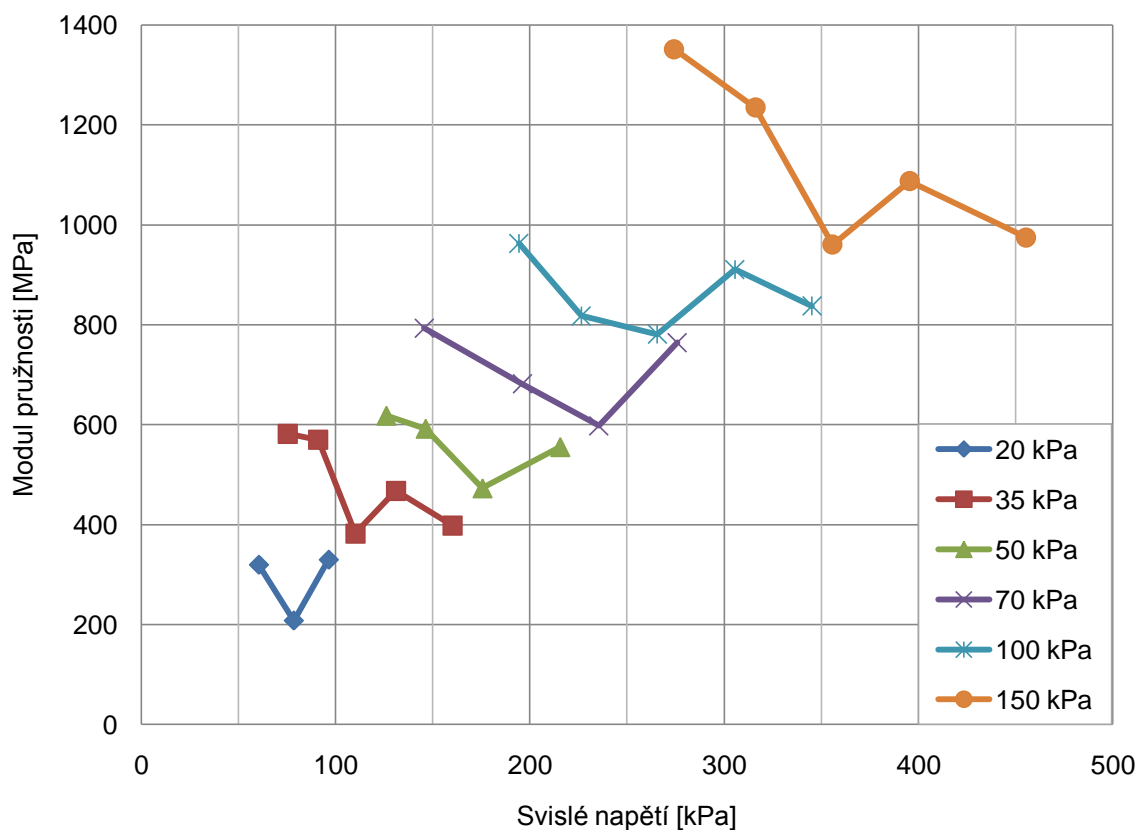
Příloha 46 Cyklická triaxiální zkouška vzorku III – 12 – 15

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI III – 15							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>26,31</b>	<b>21,33</b>	<b>47,63</b>	<b>0,0001</b>	<b>926,24</b>
20	35	55	18,87	41,58	60,45	0,0002	319,64
20	50	70	20,78	57,59	78,37	0,0004	207,81
20	70	90	20,02	76,34	96,36	0,0003	329,79
35	35	70	33,38	41,92	75,30	0,0001	581,87
35	50	85	34,85	56,22	91,07	0,0002	569,79
35	70	105	34,73	75,43	110,16	0,0003	382,54
35	90	125	35,41	95,58	130,98	0,0003	467,64
35	120	155	34,74	125,44	160,18	0,0004	398,47
<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>49,60</b>	<b>56,35</b>	<b>105,95</b>	<b>0,0001</b>	<b>871,12</b>
50	70	120	49,69	76,38	126,07	0,0002	618,42
50	90	140	50,25	96,06	146,30	0,0002	592,40
50	120	170	50,04	125,53	175,57	0,0004	472,86
50	160	210	50,02	165,60	215,63	0,0004	555,55
70	70	140	68,78	76,84	145,61	0,0002	793,34
<b>70</b>	<b>90</b>	<b>160</b>	<b>70,01</b>	<b>96,28</b>	<b>166,29</b>	<b>0,0002</b>	<b>907,51</b>
70	120	190	70,03	126,02	196,06	0,0003	681,78
70	160	230	70,14	165,40	235,54	0,0004	597,90
70	200	270	70,09	205,74	275,83	0,0004	764,32
100	90	190	98,63	95,68	194,31	0,0002	963,21
100	120	220	100,04	126,42	226,45	0,0003	817,99
100	160	260	99,95	165,62	265,57	0,0003	781,33
100	200	300	100,12	205,50	305,62	0,0003	910,66
100	240	340	99,82	245,38	345,20	0,0004	837,63
150	120	270	148,29	125,98	274,27	0,0002	1351,70
150	160	310	150,19	165,93	316,12	0,0003	1234,61
150	200	350	149,99	205,79	355,78	0,0004	960,40
150	240	390	149,97	245,48	395,45	0,0004	1087,43
150	300	450	150,00	305,51	455,51	0,00	974,65

Příloha 47 Pracovní diagram vzorku III – 12 – 15



Příloha 48 Modul pružnosti vzorku III – 12 – 15



**SMĚS IV – 1**

Označení směsi: IV – 1

Vlhkost vzorku: 9,62 %

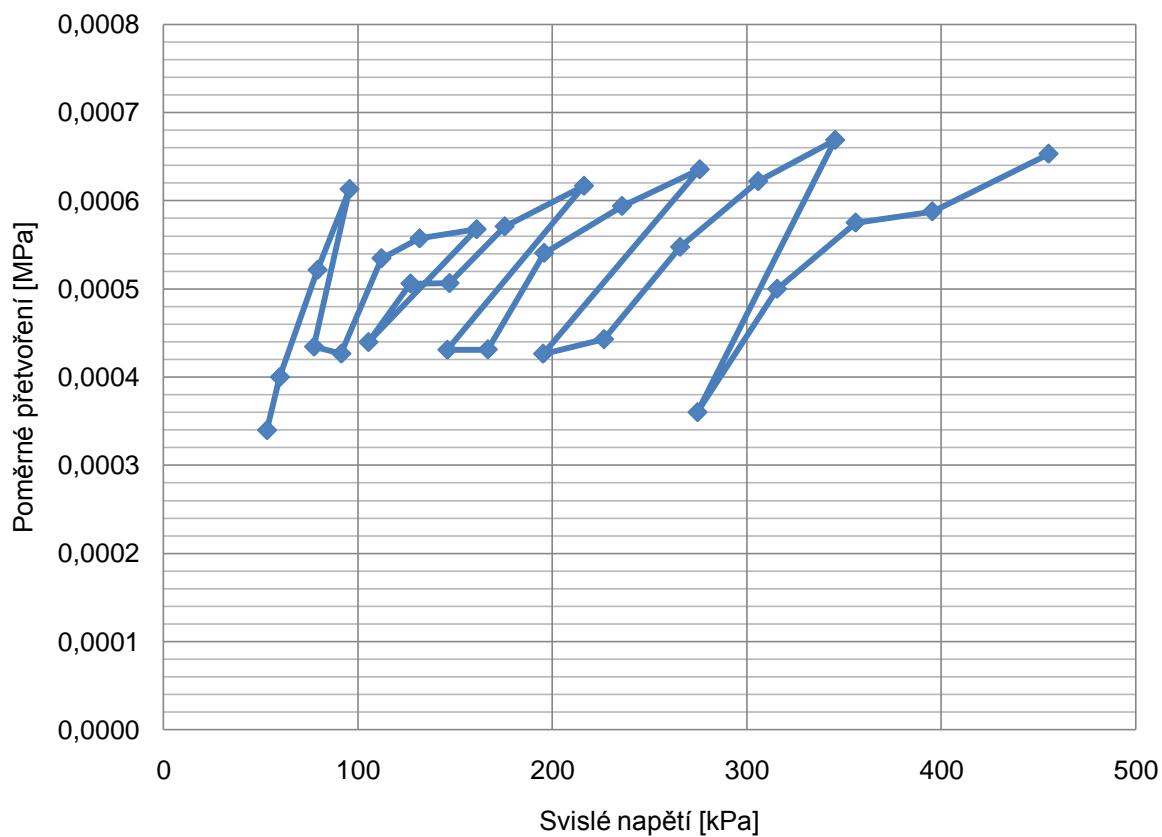
Označení vzorku: IV – 9 – 1

Hmotnost vzorku: 3,203 kg

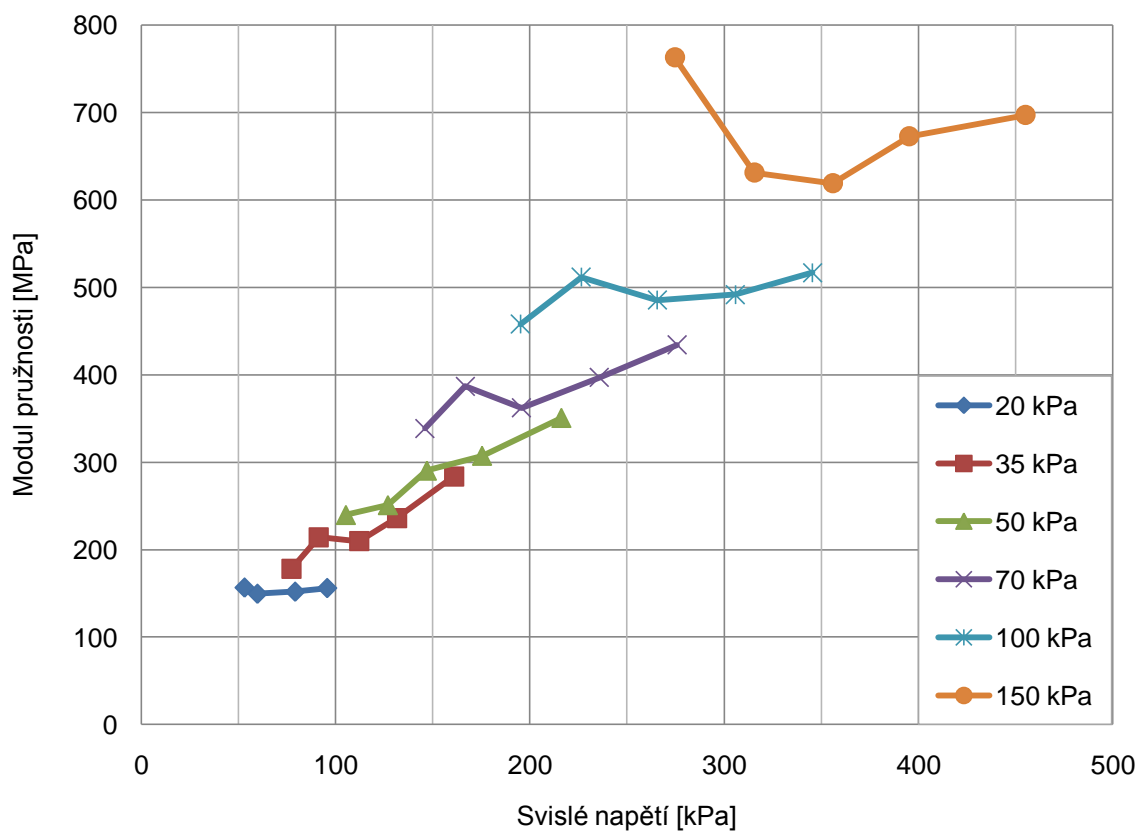
*Příloha 49 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 9 – 1*

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI IV – 1							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20,00	20,00	40,00	25,68	27,48	53,16	0,0003	156,52
20,00	35,00	55,00	18,01	41,77	59,78	0,0004	149,49
20,00	50,00	70,00	21,94	57,23	79,17	0,0005	151,85
20,00	70,00	90,00	18,38	77,23	95,61	0,0006	155,97
35,00	35,00	70,00	35,52	41,81	77,34	0,0004	178,09
35,00	50,00	85,00	34,66	56,72	91,38	0,0004	214,30
35,00	70,00	105,00	34,82	77,19	112,01	0,0005	209,53
35,00	90,00	125,00	35,02	96,61	131,63	0,0006	236,31
35,00	120,00	155,00	35,10	125,87	160,96	0,0006	283,68
50,00	50,00	100,00	48,47	56,87	105,34	0,0004	239,69
50,00	70,00	120,00	49,89	77,07	126,95	0,0005	250,95
50,00	90,00	140,00	50,50	96,51	147,01	0,0005	290,35
50,00	120,00	170,00	49,47	125,94	175,41	0,0006	307,36
50,00	160,00	210,00	50,53	165,69	216,22	0,0006	350,63
70,00	70,00	140,00	68,93	77,01	145,94	0,0004	338,79
70,00	90,00	160,00	69,78	96,96	166,74	0,0004	386,71
70,00	120,00	190,00	69,81	125,90	195,71	0,0005	362,02
70,00	160,00	230,00	70,03	165,72	235,76	0,0006	397,02
70,00	200,00	270,00	70,21	205,55	275,77	0,0006	434,00
100,00	90,00	190,00	98,41	96,76	195,17	0,0004	457,84
100,00	120,00	220,00	100,27	126,24	226,51	0,0004	511,59
100,00	160,00	260,00	100,04	165,62	265,66	0,0005	485,30
100,00	200,00	300,00	100,05	205,80	305,84	0,0006	491,74
100,00	240,00	340,00	100,02	245,43	345,45	0,0007	516,65
150,00	120,00	270,00	147,76	126,89	274,65	0,0004	762,93
150,00	160,00	310,00	149,88	165,70	315,57	0,0005	631,29
150,00	200,00	350,00	150,13	205,83	355,96	0,0006	619,08
150,00	240,00	390,00	149,90	245,52	395,42	0,0006	672,78
150,00	300,00	450,00	150,20	305,02	455,22	0,00	697,03

Příloha 50 Pracovní diagram vzorku IV – 9 – 1



Příloha 51 Modul pružnosti vzorku IV – 9 – 1



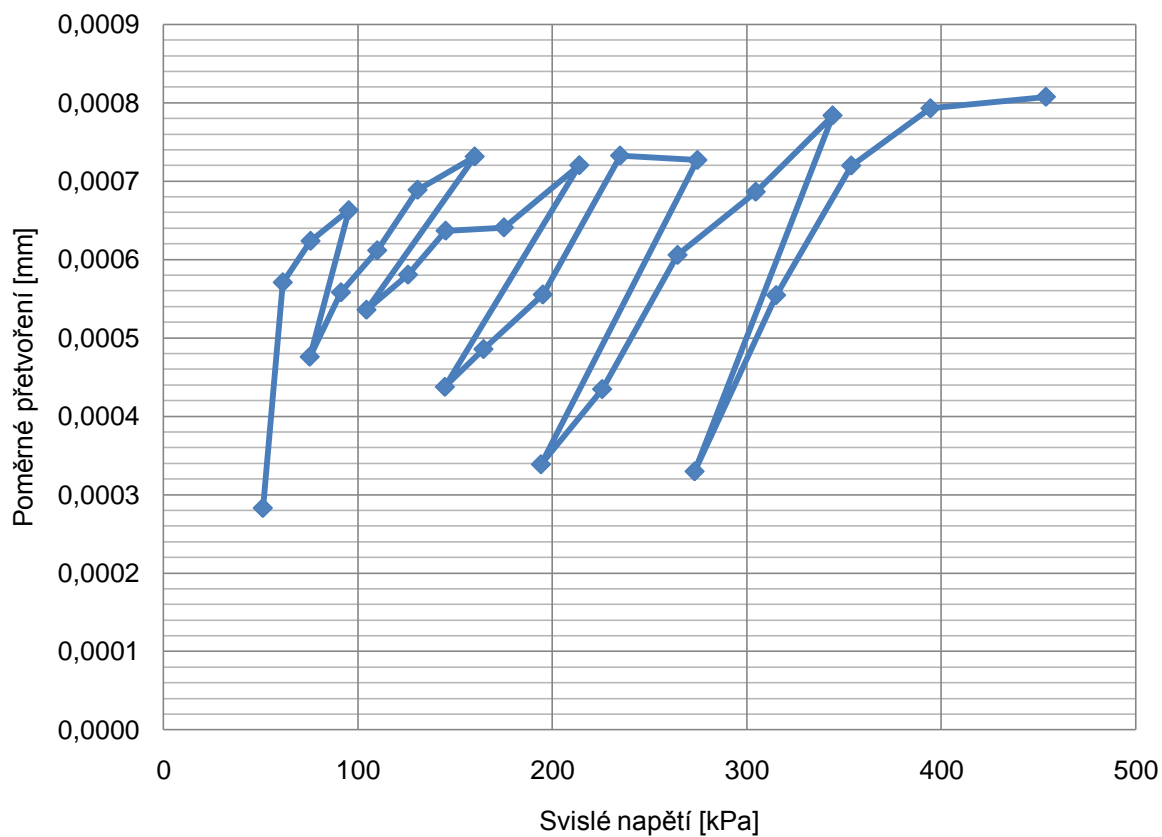
Označení směsi: IV – 1  
 Označení vzorku: IV – 10 – 1

Vlhkost vzorku: 10,38 %  
 Hmotnost vzorku: 3,205 kg

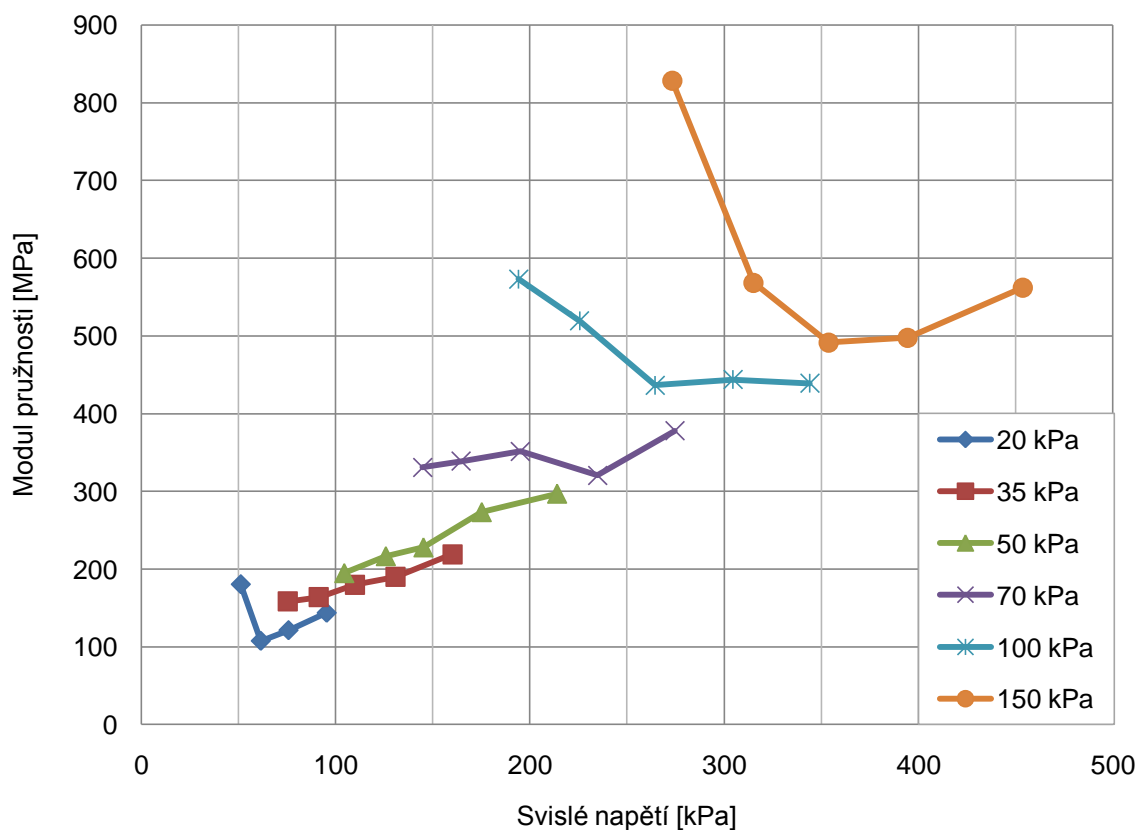
Příloha 52 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 10 – 1

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI IV – 1							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,11	26,04	51,15	0,0003	180,72
20	35	55	19,79	41,64	61,43	0,0006	107,62
20	50	70	19,52	56,18	75,71	0,0006	121,39
20	70	90	19,94	75,40	95,34	0,0007	143,84
35	35	70	33,82	41,44	75,26	0,0005	158,14
35	50	85	35,45	55,88	91,34	0,0006	163,65
35	70	105	34,72	75,25	109,97	0,0006	179,81
35	90	125	35,28	95,48	130,76	0,0007	189,82
35	120	155	35,02	125,08	160,10	0,0007	218,92
50	50	100	49,20	55,26	104,45	0,0005	194,92
50	70	120	50,03	75,79	125,82	0,0006	216,70
50	90	140	50,00	95,17	145,17	0,0006	228,01
50	120	170	49,90	125,26	175,16	0,0006	273,29
50	160	210	49,86	164,06	213,92	0,0007	297,02
70	70	140	69,38	75,42	144,80	0,0004	330,95
70	90	160	70,04	94,60	164,63	0,0005	338,94
70	120	190	70,01	125,13	195,14	0,0006	351,42
70	160	230	69,91	164,99	234,90	0,0007	320,69
70	200	270	70,20	204,47	274,67	0,0007	377,87
100	90	190	98,85	95,35	194,20	0,0003	573,30
100	120	220	100,02	125,65	225,66	0,0004	519,16
100	160	260	99,86	164,60	264,46	0,0006	436,57
100	200	300	100,02	204,63	304,65	0,0007	443,86
100	240	340	100,08	244,08	344,16	0,0008	439,13
150	120	270	148,38	124,83	273,22	0,0003	828,51
150	160	310	150,15	165,00	315,14	0,0006	568,36
150	200	350	149,99	203,78	353,77	0,0007	491,50
150	240	390	149,94	244,57	394,51	0,0008	497,61
150	300	450	150,02	303,87	453,89	0,00	562,09

Příloha 53 Pracovní diagram vzorku IV – 10 – 1



Příloha 54 Modul pružnosti vzorku IV – 10 – 1



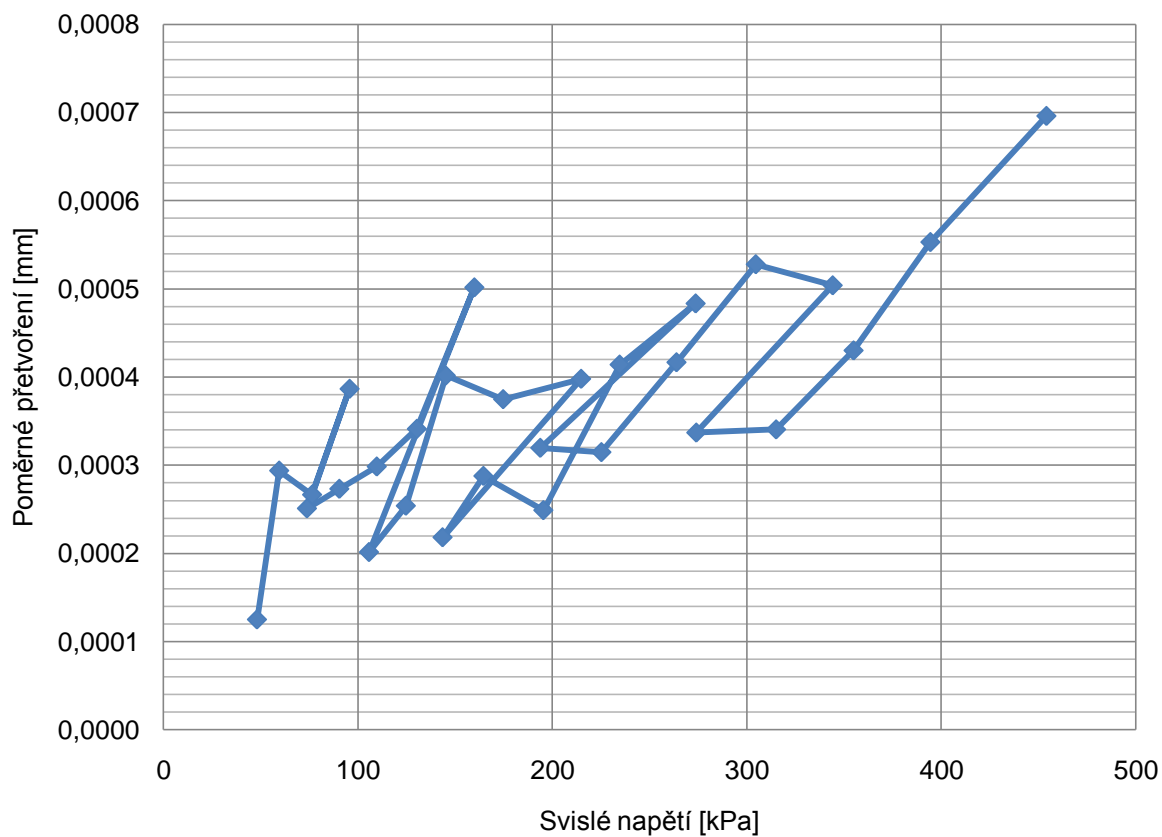
Označení směsi: IV – 1  
 Označení vzorku: IV – 11 – 1

Vlhkost vzorku: 10,60 %  
 Hmotnost vzorku: 3,210 kg

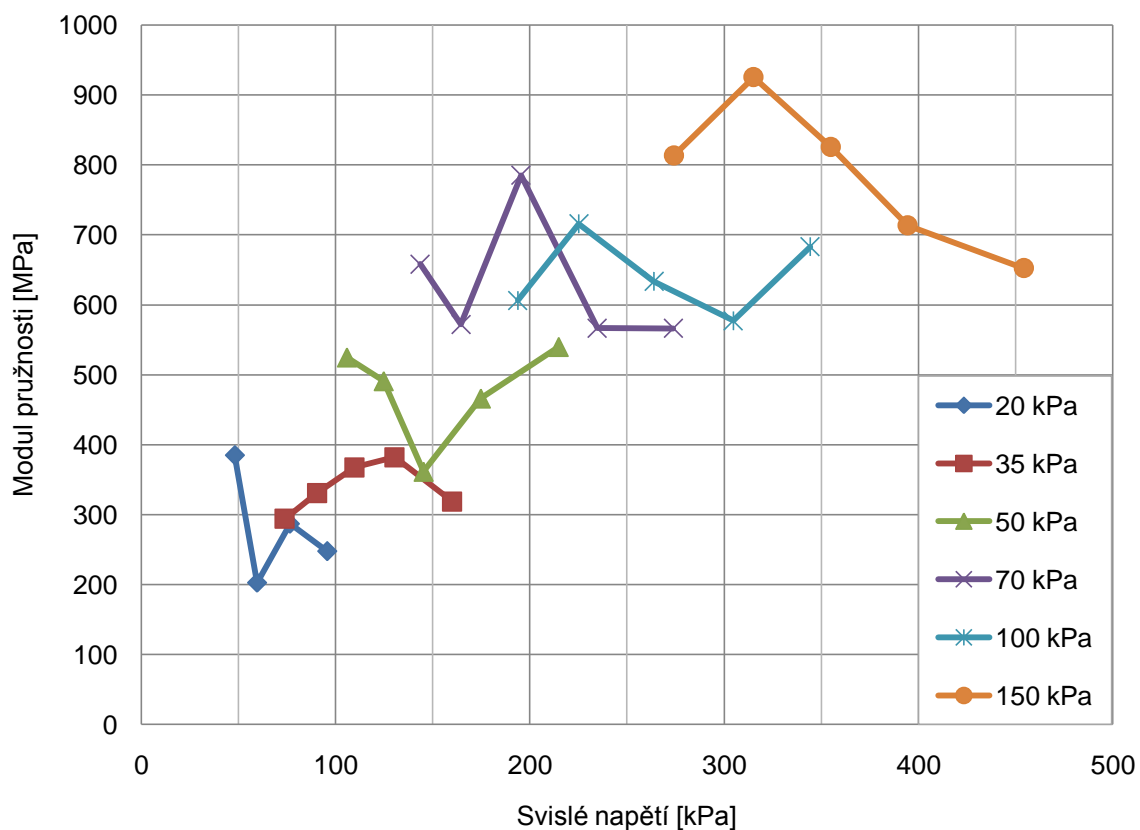
Příloha 55 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 11 – 1

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI IV – 1							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20	20	40	25,74	22,35	48,09	0,0001	384,93
20	35	55	19,03	40,50	59,53	0,0003	202,61
20	50	70	20,63	55,83	76,46	0,0003	286,87
20	70	90	20,03	75,71	95,75	0,0004	247,69
35	35	70	33,32	40,48	73,80	0,0003	294,11
35	50	85	34,94	55,53	90,47	0,0003	331,22
35	70	105	34,89	74,83	109,72	0,0003	367,66
35	90	125	35,42	94,94	130,36	0,0003	382,10
35	120	155	34,65	125,28	159,93	0,0005	318,81
50	50	100	49,82	55,90	105,72	0,0002	524,94
50	70	120	49,67	75,00	124,67	0,0003	491,01
50	90	140	50,29	94,94	145,23	0,0004	361,55
50	120	170	50,03	124,70	174,73	0,0004	466,21
50	160	210	50,07	164,78	214,86	0,0004	539,94
70	70	140	68,81	74,76	143,57	0,0002	658,17
70	90	160	70,02	94,56	164,59	0,0003	571,96
70	120	190	70,29	125,13	195,42	0,0002	785,18
70	160	230	70,00	164,66	234,65	0,0004	566,70
70	200	270	69,83	203,94	273,76	0,0005	566,29
100	90	190	98,87	94,97	193,83	0,0003	606,47
100	120	220	100,25	125,03	225,28	0,0003	715,75
100	160	260	99,82	164,10	263,91	0,0004	633,37
100	200	300	100,25	204,45	304,70	0,0005	577,20
100	240	340	99,82	244,44	344,26	0,0005	683,09
150	120	270	148,55	125,55	274,10	0,0003	813,52
150	160	310	149,95	165,21	315,16	0,0003	925,52
150	200	350	150,13	204,89	355,01	0,0004	825,41
150	240	390	150,02	244,52	394,54	0,0006	713,37
150	300	450	149,95	304,26	454,21	0,00	652,46

Příloha 56 Pracovní diagram vzorku IV – 11 – 1



Příloha 57 Modul pružnosti vzorku IV – 11 – 1



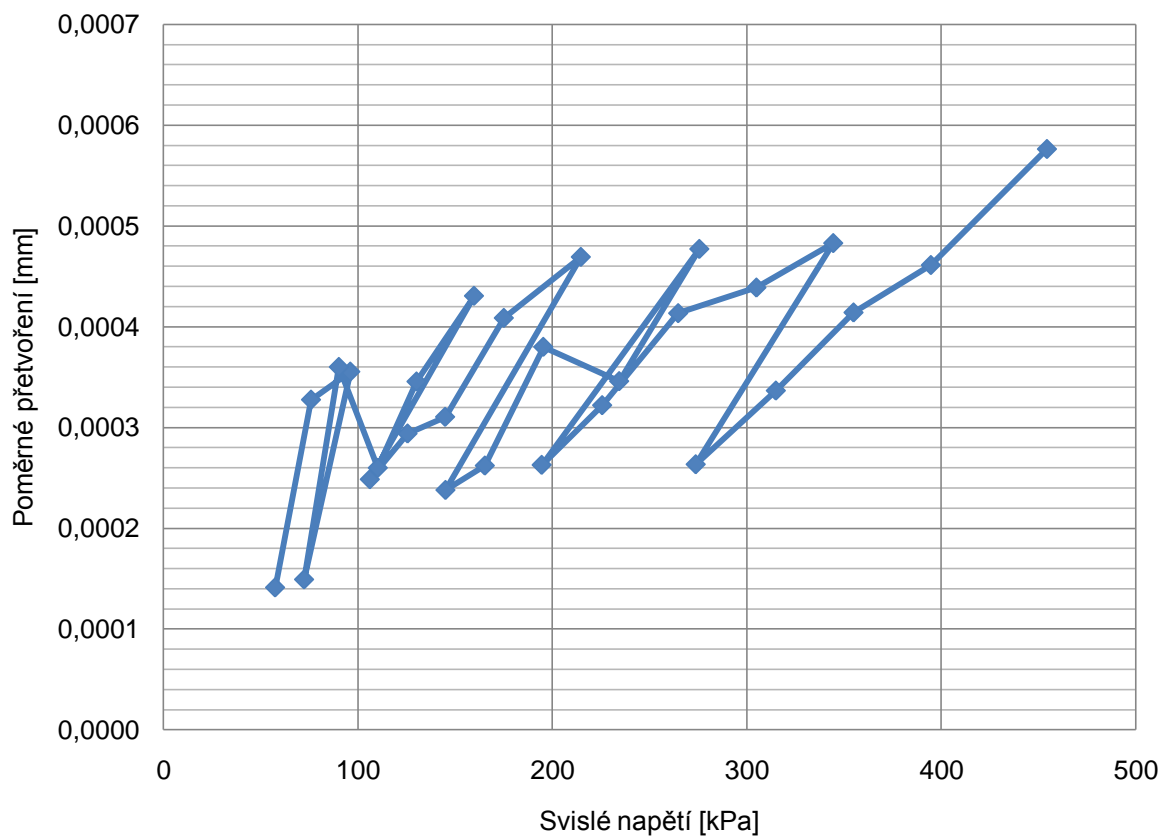
Označení směsi: IV – 1  
 Označení vzorku: IV – 12 – 1

Vlhkost vzorku: 9,85 %  
 Hmotnost vzorku: 3,187 kg

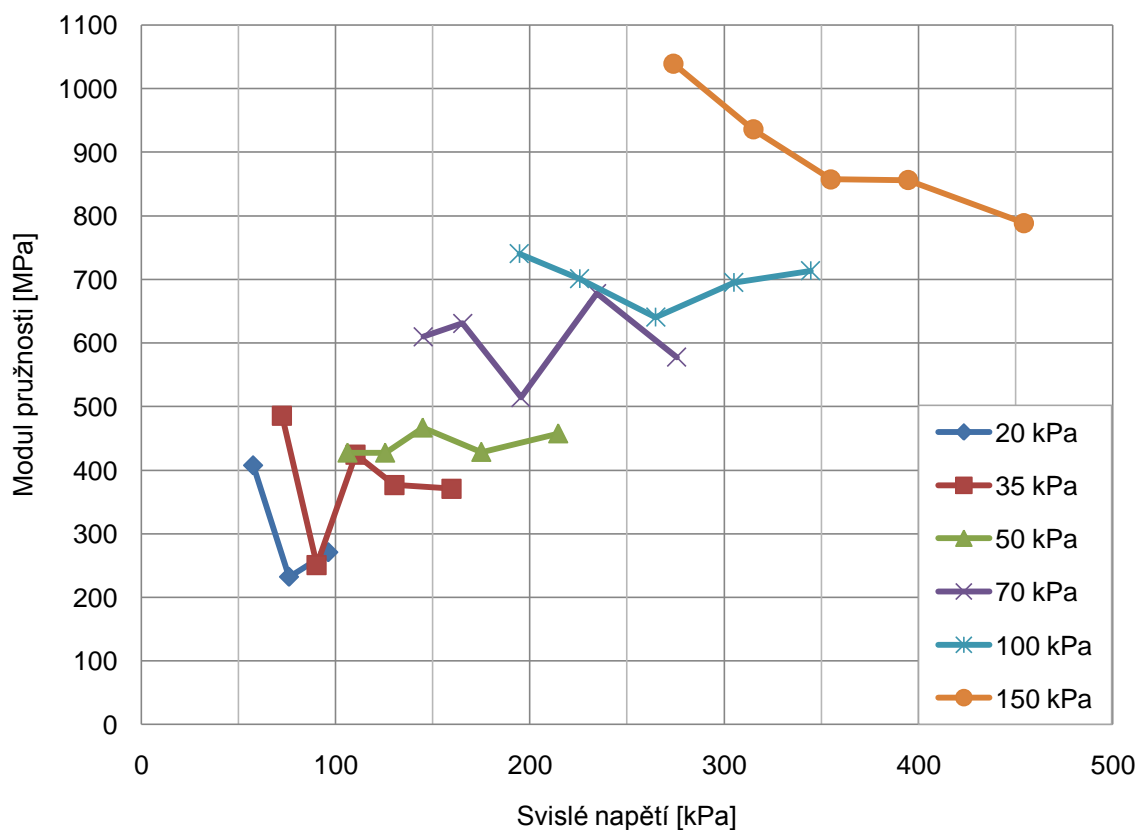
Příloha 58 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 12 – 1

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI IV – 1							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>26,62</b>	<b>18,86</b>	<b>45,47</b>	<b>0,0000</b>	<b>4182,38</b>
20	35	55	19,26	38,26	57,51	0,0001	407,30
20	50	70	19,84	56,14	75,98	0,0003	231,97
20	70	90	20,29	75,88	96,18	0,0004	270,63
35	35	70	33,90	38,51	72,41	0,0001	485,42
35	50	85	35,37	54,92	90,28	0,0004	250,79
35	70	105	34,81	75,51	110,32	0,0003	424,48
35	90	125	35,23	95,00	130,22	0,0003	376,84
35	120	155	34,89	124,88	159,77	0,0004	371,08
50	50	100	49,60	56,62	106,22	0,0002	427,38
50	70	120	50,01	75,60	125,61	0,0003	427,34
50	90	140	50,03	94,90	144,93	0,0003	466,80
50	120	170	49,92	125,19	175,11	0,0004	428,53
50	160	210	49,91	164,80	214,71	0,0005	457,63
70	70	140	69,56	75,55	145,11	0,0002	609,92
70	90	160	69,96	95,40	165,36	0,0003	630,80
70	120	190	70,14	125,25	195,39	0,0004	514,29
70	160	230	69,77	164,65	234,42	0,0003	677,68
70	200	270	70,30	205,34	275,64	0,0005	577,76
100	90	190	98,98	95,60	194,58	0,0003	740,31
100	120	220	100,07	125,60	225,68	0,0003	700,75
100	160	260	100,11	164,65	264,76	0,0004	640,52
100	200	300	99,78	205,20	304,99	0,0004	695,10
100	240	340	100,01	244,47	344,48	0,0005	713,40
150	120	270	148,68	125,09	273,77	0,0003	1039,32
150	160	310	150,03	164,94	314,97	0,0003	935,90
150	200	350	150,19	204,73	354,92	0,0004	857,20
150	240	390	149,96	244,73	394,69	0,0005	855,95
150	300	450	149,87	304,50	454,36	0,00	788,50

Příloha 59 Pracovní diagram vzorku IV – 12 – 1



Příloha 60 Modul pružnosti vzorku IV – 12 – 1



**SMĚS IV – 3**

Označení směsi: IV – 3

Vlhkost vzorku: 10,11 %

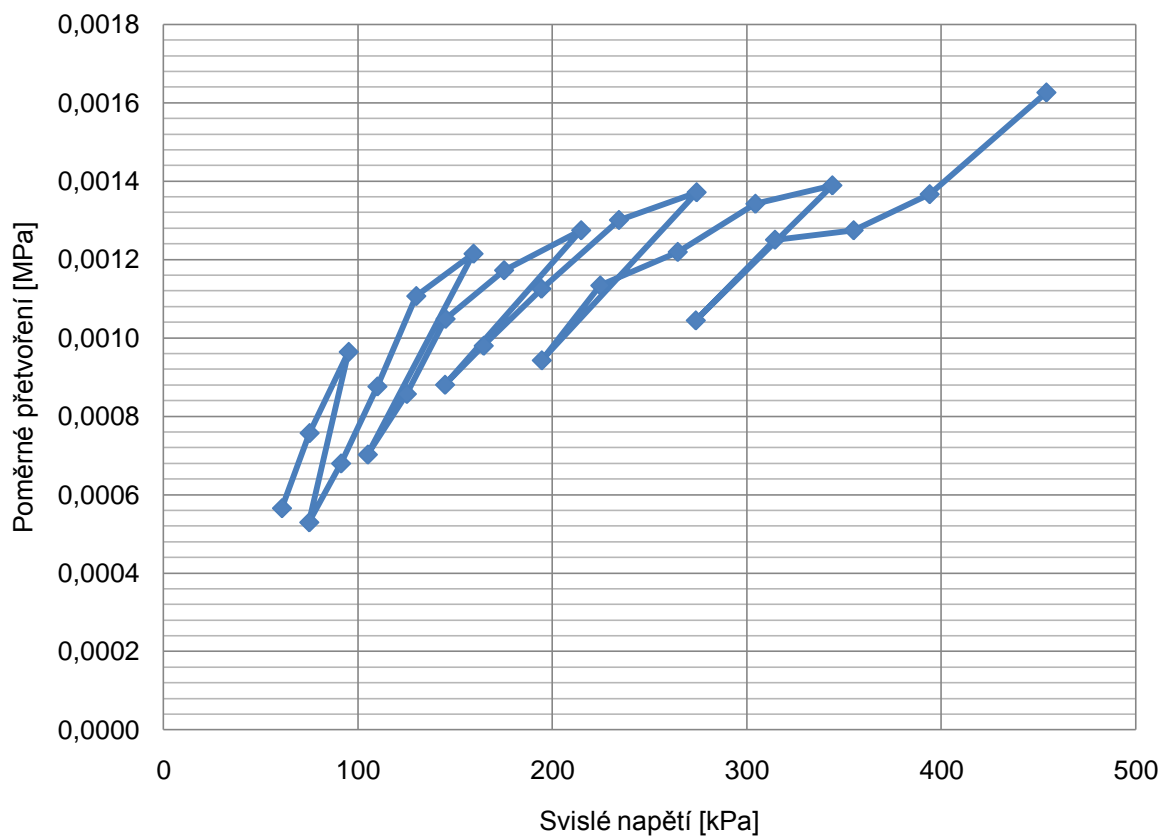
Označení vzorku: IV – 9 – 3

Hmotnost vzorku: 3,008 kg

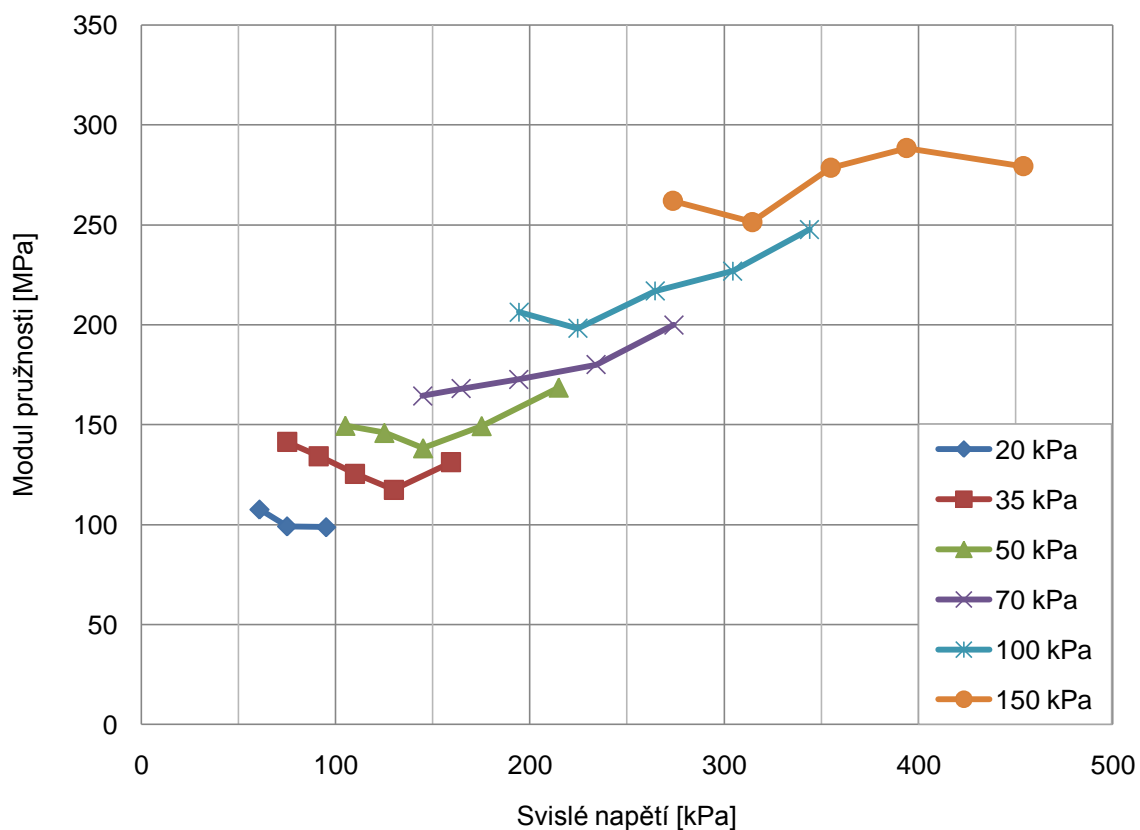
*Příloha 61 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 9 – 3*

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI IV – 3							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>25,37</b>	<b>18,71</b>	<b>44,09</b>	<b>0,0000</b>	<b>1121,46</b>
20	35	55	19,85	41,04	60,89	0,0006	107,60
20	50	70	19,70	55,39	75,09	0,0008	99,15
20	70	90	20,06	75,15	95,21	0,0010	98,73
35	35	70	33,54	41,39	74,93	0,0005	141,41
35	50	85	35,51	55,77	91,28	0,0007	134,25
35	70	105	34,62	75,34	109,97	0,0009	125,52
35	90	125	35,22	94,74	129,96	0,0011	117,44
35	120	155	34,94	124,47	159,41	0,0012	131,25
50	50	100	49,59	55,46	105,04	0,0007	149,51
50	70	120	50,07	75,03	125,11	0,0009	145,97
50	90	140	49,84	95,19	145,02	0,0010	138,33
50	120	170	50,18	124,95	175,13	0,0012	149,37
50	160	210	49,97	164,80	214,78	0,0013	168,54
70	70	140	69,32	75,45	144,77	0,0009	164,41
70	90	160	69,93	94,71	164,65	0,0010	168,02
70	120	190	70,16	124,17	194,33	0,0011	172,68
70	160	230	70,01	164,18	234,18	0,0013	180,07
70	200	270	69,84	204,31	274,14	0,0014	199,93
100	90	190	99,18	95,34	194,52	0,0009	206,33
100	120	220	99,97	124,65	224,62	0,0011	198,16
100	160	260	100,12	164,31	264,44	0,0012	216,91
100	200	300	100,04	204,35	304,39	0,0013	226,84
100	240	340	99,97	244,00	343,97	0,0014	247,68
150	120	270	148,76	124,97	273,72	0,0010	262,05
150	160	310	149,93	164,51	314,44	0,0013	251,52
150	200	350	150,20	204,72	354,91	0,0013	278,51
150	240	390	149,81	244,21	394,02	0,0014	288,39
150	300	450	150,21	303,85	454,06	0,00	279,33

Příloha 62 Pracovní diagram vzorku IV – 9 – 3



Příloha 63 Modul pružnosti vzorku IV – 9 – 3



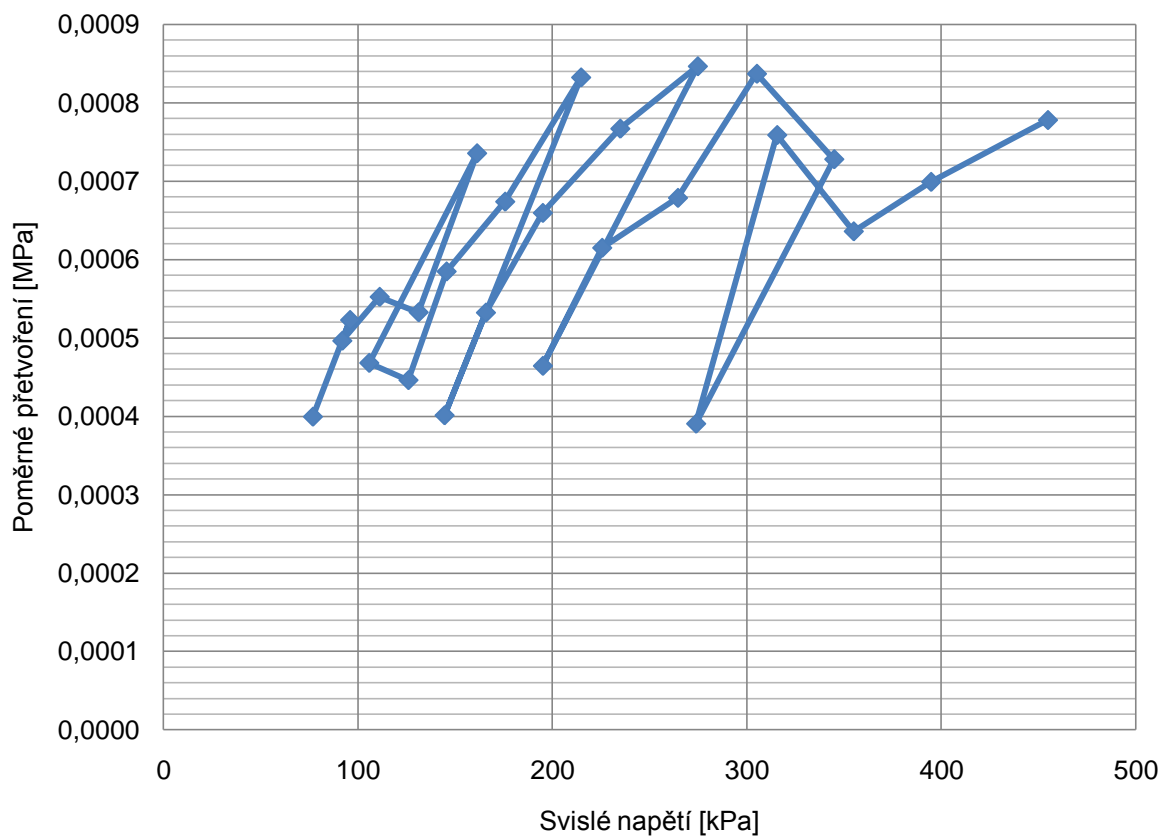
Označení směsi: IV – 3  
 Označení vzorku: IV – 10 – 3

Vlhkost vzorku: 9,46 %  
 Hmotnost vzorku: 3,091 kg

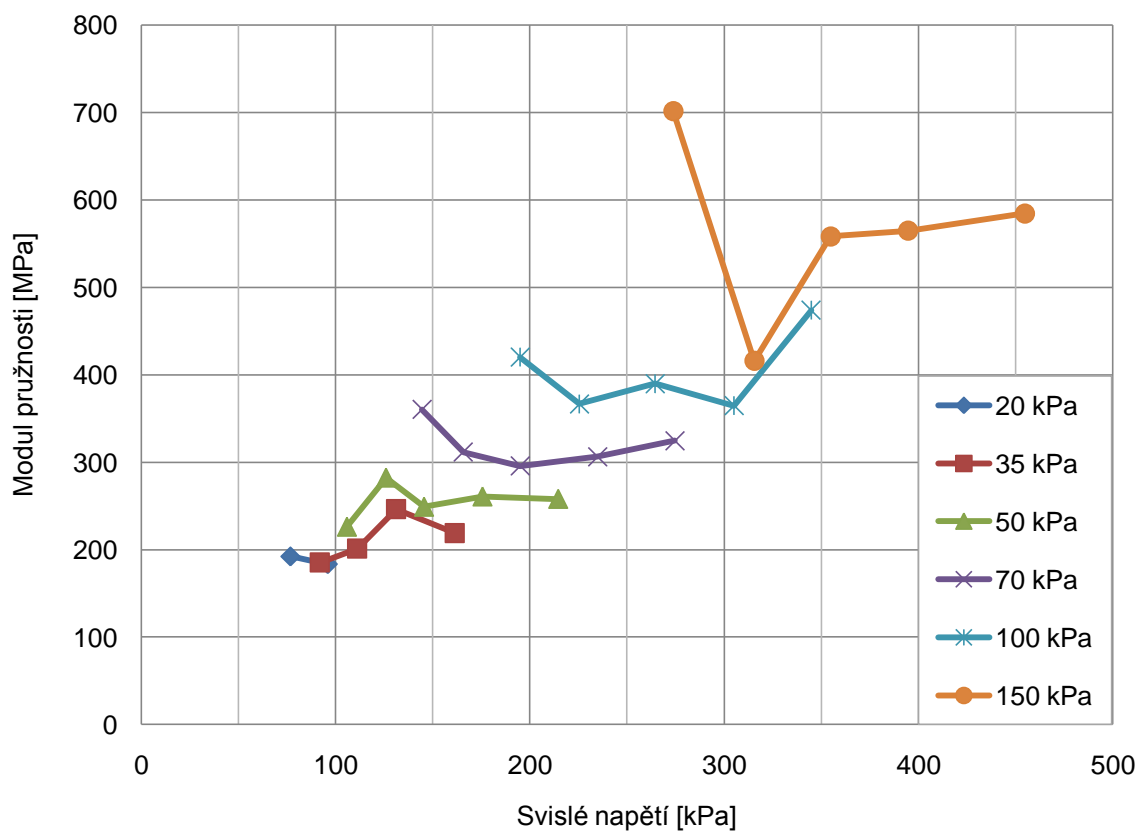
Příloha 64 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 10 – 3

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI IV – 3							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>27,88</b>	<b>22,15</b>	<b>50,03</b>	<b>0,0000</b>	<b>-8445,94</b>
<b>20</b>	<b>35</b>	<b>55</b>	<b>18,62</b>	<b>33,90</b>	<b>52,52</b>	<b>0,0000</b>	<b>2408,91</b>
20	50	70	20,35	56,39	76,74	0,0004	192,26
20	70	90	20,23	75,65	95,87	0,0005	183,43
<b>35</b>	<b>35</b>	<b>70</b>	<b>33,46</b>	<b>34,28</b>	<b>67,74</b>	<b>0,0000</b>	<b>-1396,65</b>
35	50	85	35,32	56,54	91,86	0,0005	185,16
35	70	105	35,17	75,91	111,07	0,0006	201,15
35	90	125	34,82	96,30	131,12	0,0005	246,25
35	120	155	34,89	126,29	161,17	0,0007	219,14
50	50	100	49,84	55,88	105,72	0,0005	225,97
50	70	120	49,92	75,95	125,88	0,0004	282,31
50	90	140	49,96	95,54	145,50	0,0006	248,88
50	120	170	50,17	125,46	175,63	0,0007	260,69
50	160	210	50,02	164,67	214,69	0,0008	257,94
70	70	140	68,92	75,53	144,45	0,0004	360,25
70	90	160	70,29	95,43	165,72	0,0005	311,48
70	120	190	69,79	125,22	195,01	0,0007	295,77
70	160	230	70,27	164,57	234,84	0,0008	306,21
70	200	270	69,89	204,83	274,72	0,0008	324,53
100	90	190	99,22	95,81	195,03	0,0005	420,24
100	120	220	100,08	125,44	225,52	0,0006	366,84
100	160	260	99,87	164,62	264,49	0,0007	389,81
100	200	300	99,89	205,23	305,12	0,0008	364,55
100	240	340	100,21	244,67	344,88	0,0007	473,81
150	120	270	148,52	125,31	273,83	0,0004	701,69
150	160	310	150,16	165,38	315,54	0,0008	415,87
150	200	350	150,02	204,90	354,91	0,0006	558,18
150	240	390	149,88	244,84	394,72	0,0007	564,72
150	300	450	150,13	304,67	454,80	0,00	584,66

Příloha 65 Pracovní diagram vzorku IV – 10 – 3



Příloha 66 Modul pružnosti vzorku IV – 10 – 3



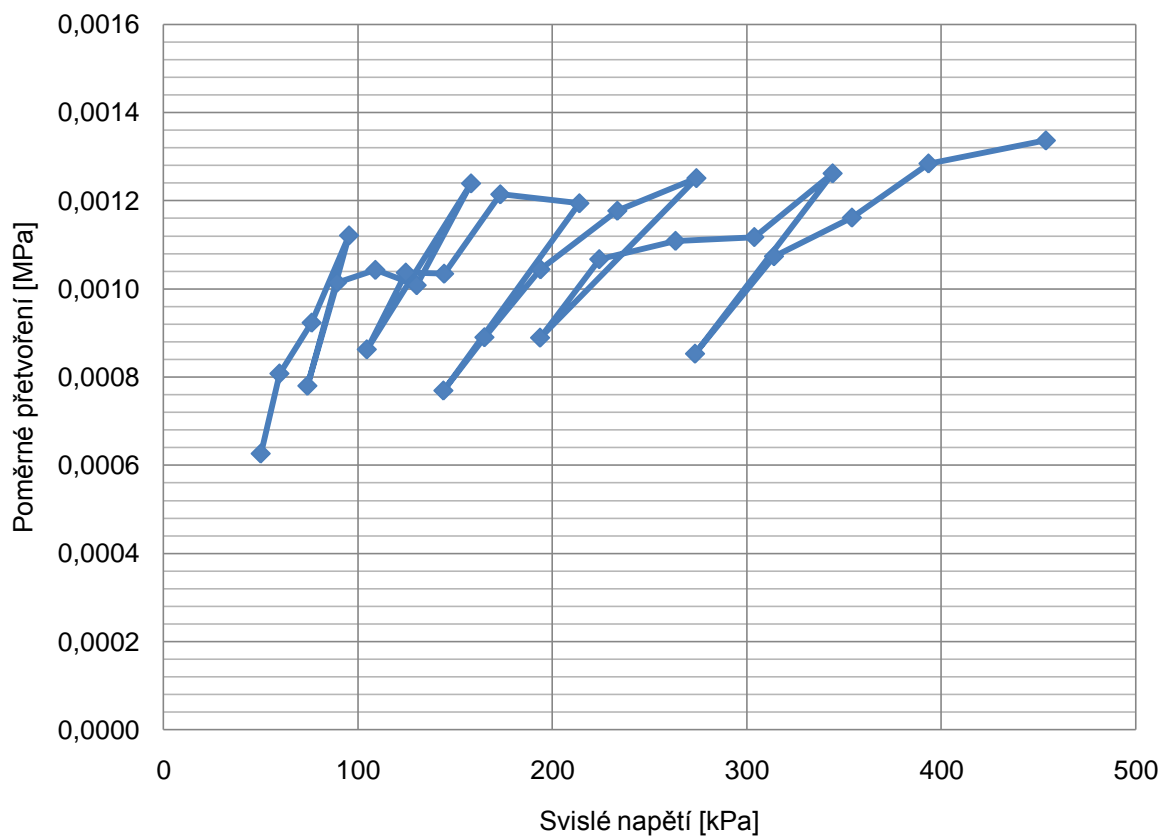
Označení směsi: IV – 3  
 Označení vzorku: IV – 11 – 3

Vlhkost vzorku: 10,24 %  
 Hmotnost vzorku: 3,102 kg

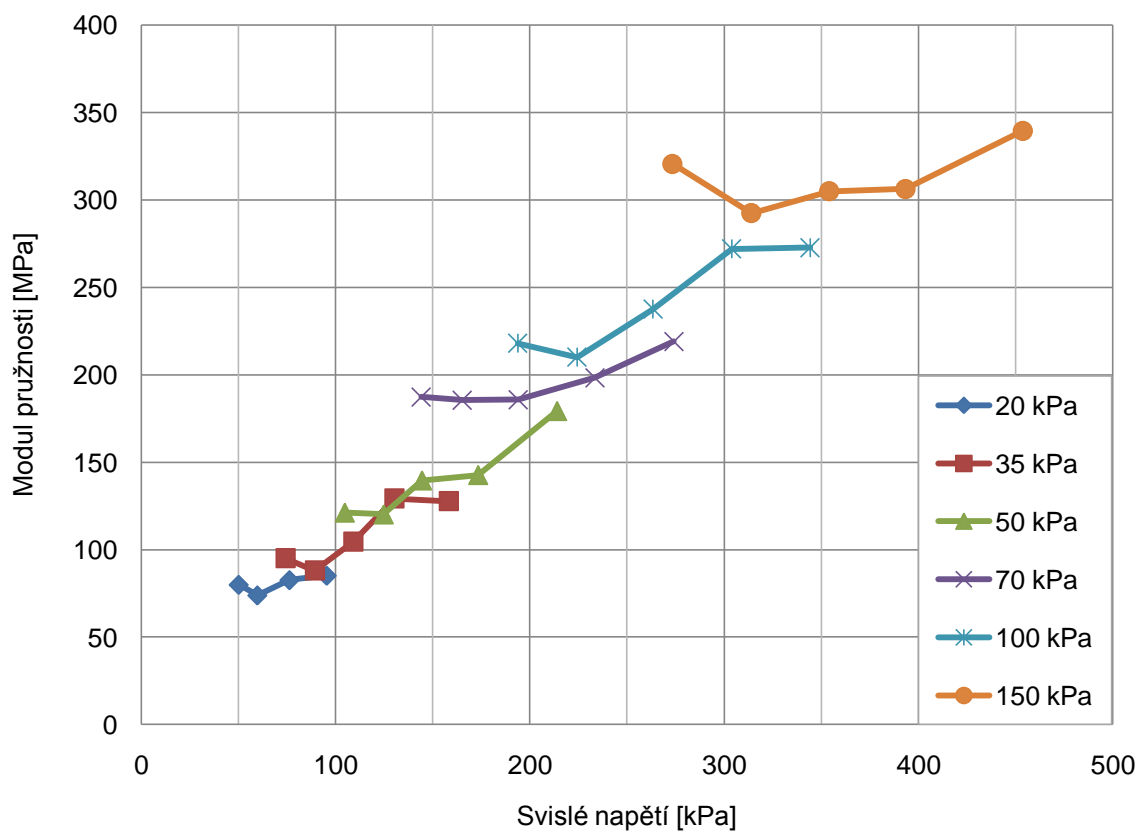
Příloha 67 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 11 – 3

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI IV – 3							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
20	20	40	24,89	25,20	50,09	0,0006	79,98
20	35	55	19,37	40,36	59,73	0,0008	73,93
20	50	70	20,30	56,00	76,30	0,0009	82,65
20	70	90	20,18	75,34	95,51	0,0011	85,19
35	35	70	33,30	40,80	74,11	0,0008	95,00
35	50	85	34,85	54,47	89,33	0,0010	88,09
35	70	105	35,11	73,96	109,07	0,0010	104,57
35	90	125	35,37	94,92	130,30	0,0010	129,23
35	120	155	34,66	123,60	158,26	0,0012	127,71
50	50	100	49,74	54,91	104,64	0,0009	121,30
50	70	120	49,63	75,07	124,70	0,0010	120,28
50	90	140	50,22	94,21	144,42	0,0010	139,63
50	120	170	49,98	123,34	173,33	0,0012	142,72
50	160	210	50,07	163,91	213,98	0,0012	179,19
70	70	140	69,16	74,89	144,05	0,0008	187,26
70	90	160	70,18	94,98	165,16	0,0009	185,55
70	120	190	70,12	123,86	193,98	0,0010	185,77
70	160	230	69,78	163,72	233,50	0,0012	198,35
70	200	270	70,28	203,89	274,17	0,0013	219,12
100	90	190	99,07	94,69	193,77	0,0009	217,91
100	120	220	100,03	124,17	224,20	0,0011	210,06
100	160	260	99,78	163,64	263,42	0,0011	237,56
100	200	300	100,19	203,75	303,94	0,0011	271,98
100	240	340	100,14	244,06	344,21	0,0013	272,74
150	120	270	148,54	124,91	273,45	0,0009	320,63
150	160	310	149,90	164,16	314,06	0,0011	292,45
150	200	350	150,11	204,03	354,14	0,0012	304,85
150	240	390	150,12	243,38	393,50	0,0013	306,35
150	300	450	149,81	304,07	453,88	0,00	339,56

Příloha 68 Pracovní diagram vzorku IV – 11 – 3



Příloha 69 Modul pružnosti vzorku IV – 11 – 3



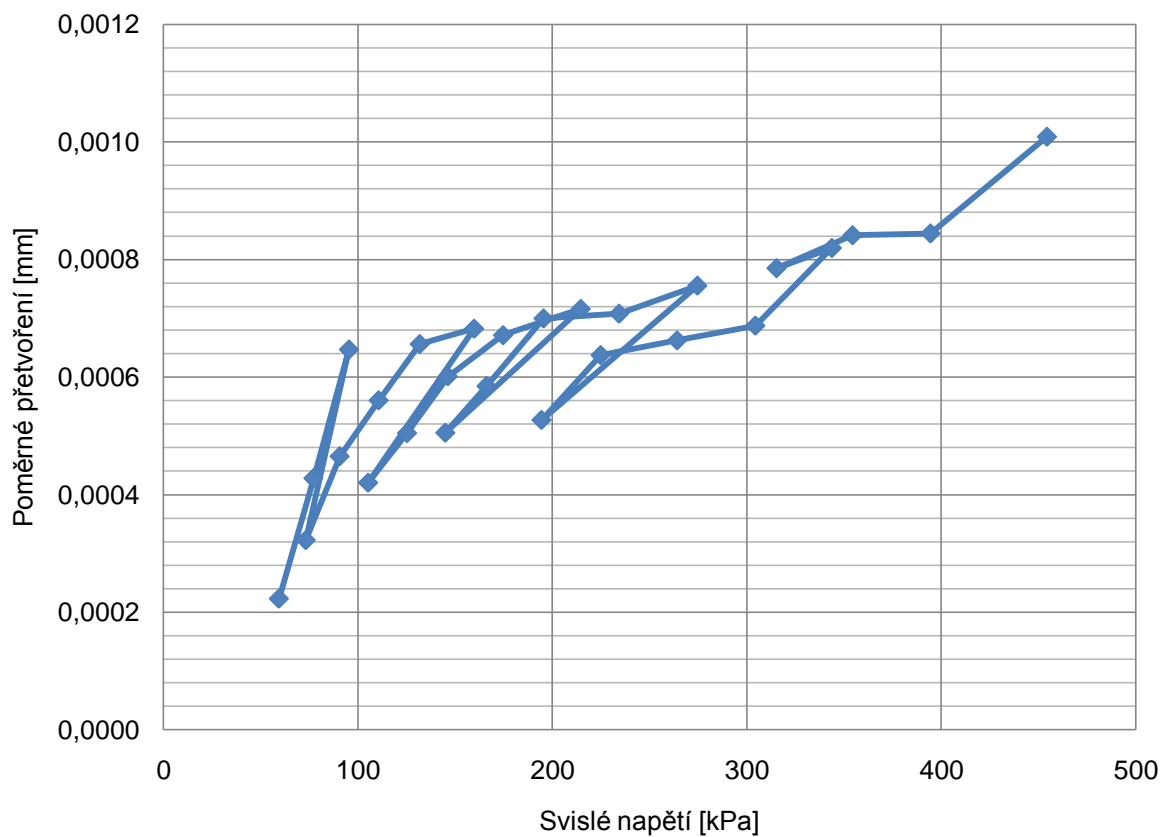
Označení směsi: IV – 3  
 Označení vzorku: IV – 12 – 3

Vlhkost vzorku: 10,22 %  
 Hmotnost vzorku: 3,103 kg

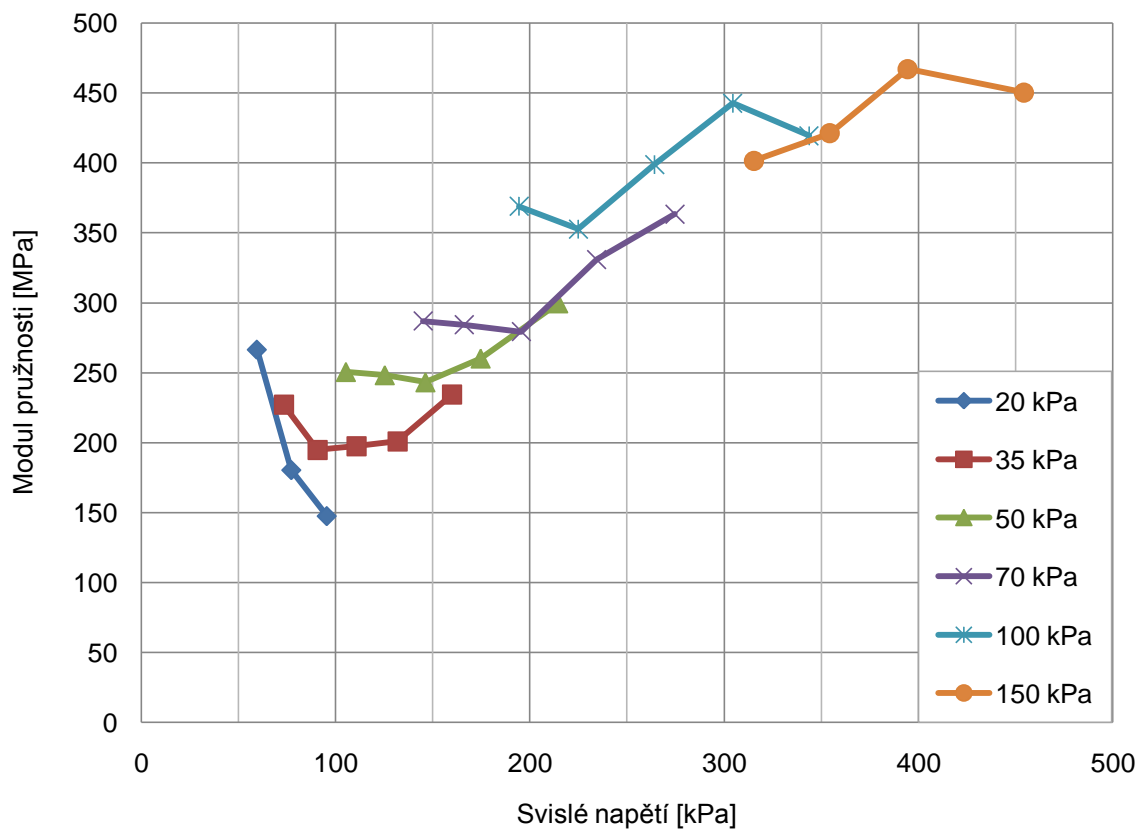
*Příloha 70 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 12 – 3*

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI IV – 3							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>28,63</b>	<b>21,02</b>	<b>49,66</b>	<b>-0,0001</b>	<b>-699,07</b>
20	35	55	18,41	41,03	59,44	0,0002	266,62
20	50	70	21,08	56,16	77,24	0,0004	180,52
20	70	90	19,97	75,55	95,51	0,0006	147,64
35	35	70	33,44	39,85	73,29	0,0003	227,19
35	50	85	34,85	55,86	90,71	0,0005	194,97
35	70	105	35,25	75,51	110,76	0,0006	197,62
35	90	125	35,25	96,66	131,91	0,0007	201,00
35	120	155	34,74	125,12	159,85	0,0007	234,27
50	50	100	49,74	55,60	105,35	0,0004	250,64
50	70	120	49,63	75,73	125,35	0,0005	248,36
50	90	140	50,29	96,01	146,31	0,0006	243,27
50	120	170	50,02	124,72	174,74	0,0007	260,30
50	160	210	50,09	164,59	214,68	0,0007	299,82
70	70	140	69,01	76,02	145,03	0,0005	287,00
70	90	160	70,16	96,10	166,26	0,0006	284,30
70	120	190	70,13	125,41	195,54	0,0007	279,39
70	160	230	69,81	164,56	234,37	0,0007	331,05
70	200	270	70,09	204,55	274,64	0,0008	363,44
100	90	190	99,21	95,26	194,48	0,0005	369,00
100	120	220	99,99	124,90	224,89	0,0006	352,82
100	160	260	99,85	164,37	264,21	0,0007	398,85
100	200	300	100,30	204,14	304,44	0,0007	442,79
100	240	340	99,77	244,02	343,79	0,0008	419,39
<b>150</b>	<b>120</b>	<b>270</b>	<b>148,60</b>	<b>124,90</b>	<b>273,51</b>	<b>0,0004</b>	<b>634,90</b>
150	160	310	150,03	165,31	315,34	0,0008	401,53
150	200	350	150,01	204,43	354,44	0,0008	421,25
150	240	390	150,04	244,44	394,49	0,0008	467,10
150	300	450	150,13	304,25	454,38	0,00	450,29

Příloha 71 Pracovní diagram vzorku IV – 12 – 3



Příloha 72 Modul pružnosti vzorku IV – 12 – 3



**SMĚS IV – 5**

Označení směsi: IV – 5

Vlhkost vzorku: 10,70 %

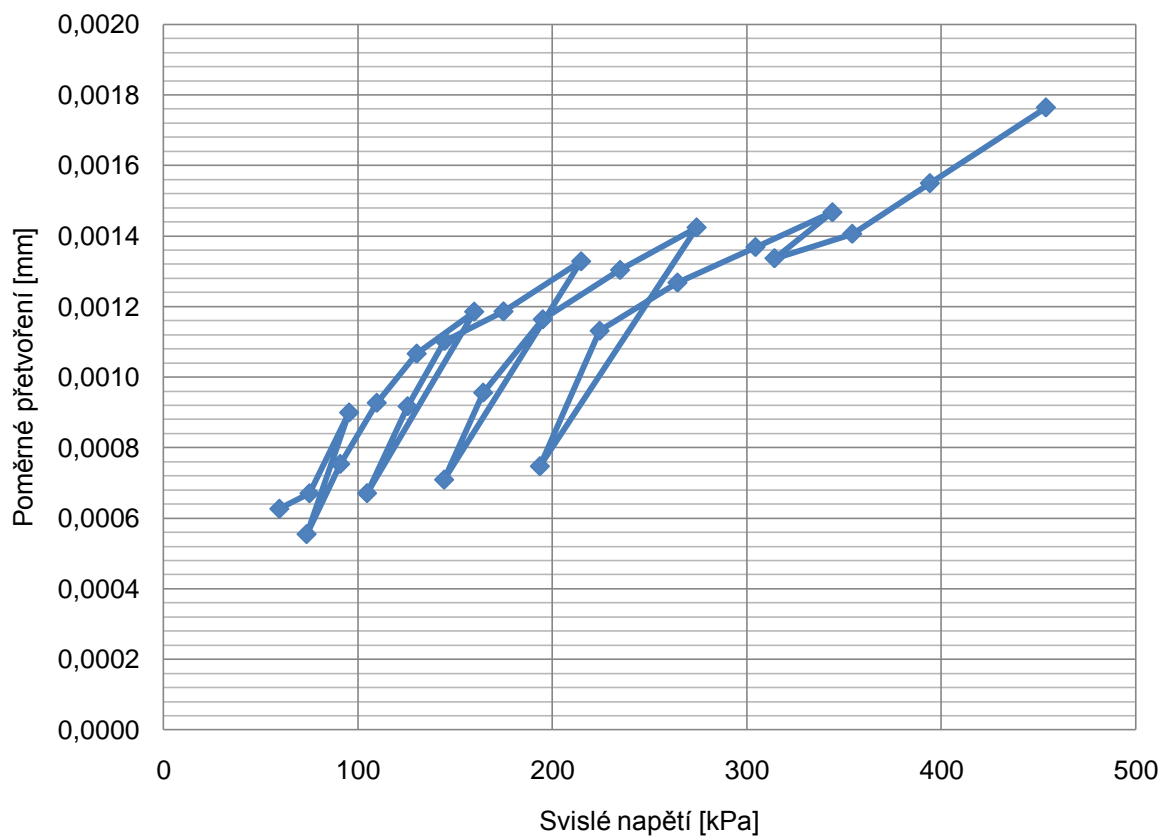
Označení vzorku: IV – 9 – 5

Hmotnost vzorku: 3,008 kg

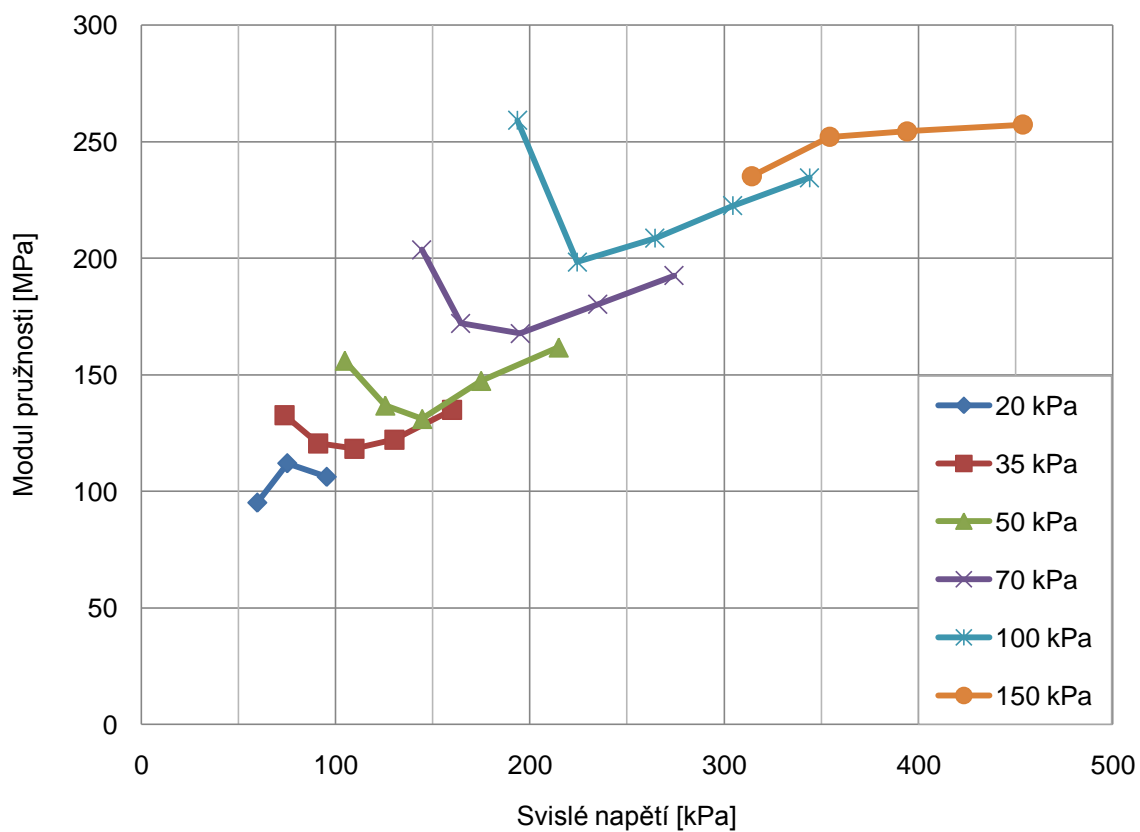
*Příloha 73 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 9 – 5*

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI IV – 5							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>24,81</b>	<b>19,28</b>	<b>44,09</b>	<b>0,0001</b>	<b>388,34</b>
20	35	55	19,99	39,60	59,59	0,0006	95,12
20	50	70	19,72	55,35	75,07	0,0007	111,99
20	70	90	19,96	75,51	95,47	0,0009	106,17
35	35	70	33,91	39,68	73,59	0,0006	132,67
35	50	85	35,34	55,55	90,88	0,0008	120,63
35	70	105	34,65	75,05	109,69	0,0009	118,36
35	90	125	35,09	95,14	130,23	0,0011	122,15
35	120	155	34,99	124,82	159,81	0,0012	134,85
50	50	100	49,52	55,18	104,70	0,0007	156,12
50	70	120	50,10	75,44	125,54	0,0009	136,89
50	90	140	49,85	94,69	144,54	0,0011	131,16
50	120	170	50,27	124,60	174,88	0,0012	147,47
50	160	210	49,83	164,98	214,81	0,0013	161,78
70	70	140	69,56	74,78	144,34	0,0007	203,60
70	90	160	69,78	94,65	164,43	0,0010	172,06
70	120	190	70,15	124,92	195,07	0,0012	167,69
70	160	230	70,14	164,71	234,85	0,0013	180,18
70	200	270	69,94	204,26	274,21	0,0014	192,58
100	90	190	98,98	94,61	193,59	0,0007	259,10
100	120	220	99,98	124,35	224,33	0,0011	198,35
100	160	260	100,07	164,30	264,37	0,0013	208,56
100	200	300	100,03	204,45	304,48	0,0014	222,52
100	240	340	100,04	244,03	344,07	0,0015	234,56
<b>150</b>	<b>120</b>	<b>270</b>	<b>148,79</b>	<b>124,64</b>	<b>273,43</b>	<b>0,0008</b>	<b>343,66</b>
150	160	310	150,03	164,24	314,28	0,0013	235,15
150	200	350	149,91	204,33	354,24	0,0014	251,98
150	240	390	150,20	243,99	394,19	0,0015	254,42
150	300	450	150,00	303,86	453,86	0,00	257,29

Příloha 74 Pracovní diagram vzorku IV – 9 – 5



Příloha 75 Modul pružnosti vzorku IV – 9 – 5



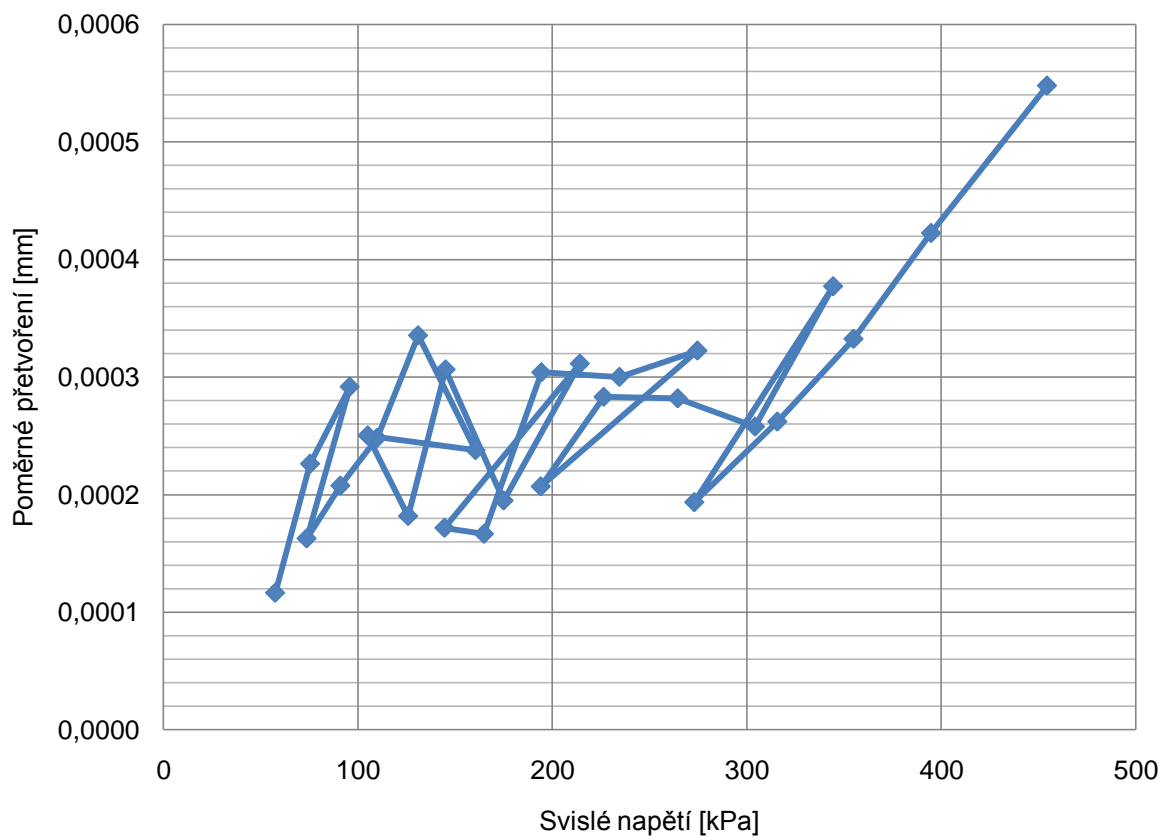
Označení směsi: IV – 5  
 Označení vzorku: IV – 10 – 5

Vlhkost vzorku: 10,18 %  
 Hmotnost vzorku: 3,036 kg

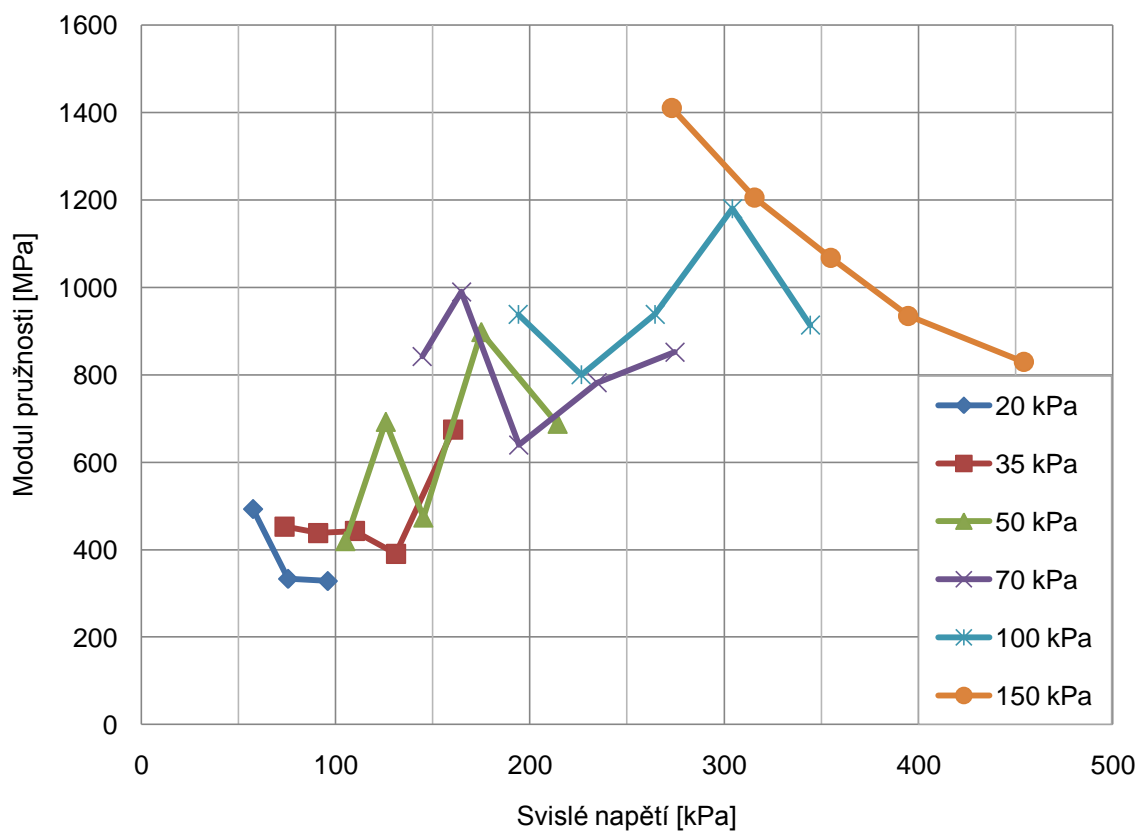
Příloha 76 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 10 – 5

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI IV – 5							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>27,87</b>	<b>21,59</b>	<b>49,46</b>	<b>0,0000</b>	<b>6365,83</b>
20	35	55	18,67	38,78	57,45	0,0001	493,30
20	50	70	20,36	55,09	75,45	0,0002	333,56
20	70	90	20,00	75,84	95,84	0,0003	328,54
35	35	70	34,06	39,61	73,66	0,0002	452,79
35	50	85	35,04	55,97	91,01	0,0002	438,40
35	70	105	34,84	75,05	109,89	0,0002	442,75
35	90	125	35,26	95,70	130,96	0,0003	390,49
35	120	155	34,90	125,60	160,50	0,0002	675,13
50	50	100	49,42	55,65	105,07	0,0003	419,83
50	70	120	50,05	75,80	125,85	0,0002	692,39
50	90	140	50,10	95,04	145,13	0,0003	473,68
50	120	170	50,03	124,92	174,95	0,0002	897,49
50	160	210	50,01	164,16	214,17	0,0003	687,92
70	70	140	69,14	75,41	144,55	0,0002	841,79
70	90	160	70,04	94,81	164,86	0,0002	989,62
70	120	190	69,94	124,45	194,39	0,0003	639,53
70	160	230	70,06	164,46	234,52	0,0003	781,64
70	200	270	70,12	204,52	274,64	0,0003	851,83
100	90	190	98,84	95,23	194,08	0,0002	937,83
100	120	220	100,11	126,29	226,40	0,0003	799,75
100	160	260	100,16	164,34	264,50	0,0003	938,60
100	200	300	100,02	204,25	304,26	0,0003	1180,19
100	240	340	100,04	244,37	344,41	0,0004	913,26
150	120	270	148,33	124,68	273,01	0,0002	1410,70
150	160	310	150,17	165,55	315,72	0,0003	1204,86
150	200	350	149,86	205,03	354,88	0,0003	1067,75
150	240	390	149,99	244,80	394,79	0,0004	934,69
150	300	450	150,20	304,19	454,38	0,00	829,53

Příloha 77 Pracovní diagram vzorku IV – 10 – 5



Příloha 78 Modul pružnosti vzorku IV – 10 – 5



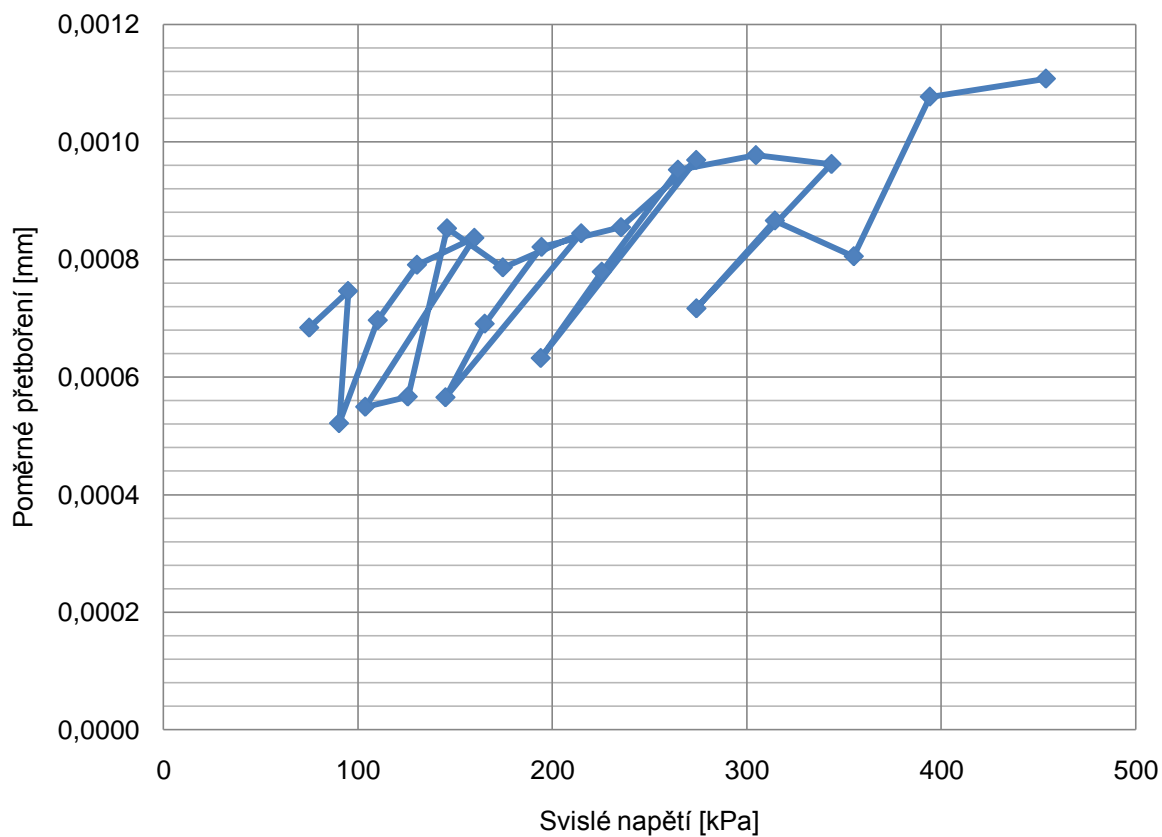
Označení směsi: IV – 5  
 Označení vzorku: IV – 11 – 5

Vlhkost vzorku: 10,09 %  
 Hmotnost vzorku: 3,014 kg

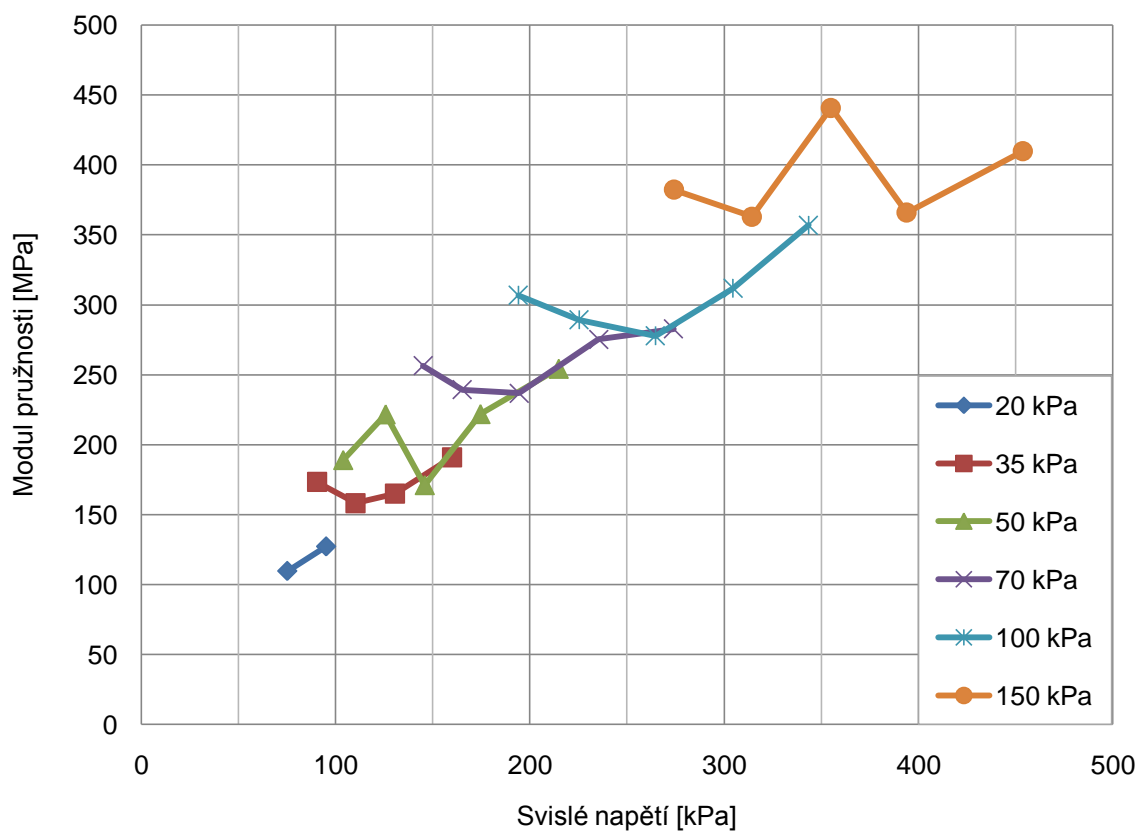
Příloha 79 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 11 – 5

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI IV – 5							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>27,53</b>	<b>22,29</b>	<b>49,83</b>	<b>-0,0001</b>	<b>-680,95</b>
<b>20</b>	<b>35</b>	<b>55</b>	<b>19,50</b>	<b>34,63</b>	<b>54,13</b>	<b>0,0001</b>	<b>515,07</b>
20	50	70	19,92	55,15	75,07	0,0007	109,73
20	70	90	19,80	75,19	94,99	0,0007	127,29
<b>35</b>	<b>35</b>	<b>70</b>	<b>34,46</b>	<b>34,60</b>	<b>69,06</b>	<b>0,0001</b>	<b>522,38</b>
35	50	85	34,69	55,69	90,38	0,0005	173,27
35	70	105	35,02	75,28	110,30	0,0007	158,31
35	90	125	34,98	95,45	130,43	0,0008	164,91
35	120	155	35,24	124,70	159,94	0,0008	191,15
50	50	100	49,17	54,69	103,86	0,0005	189,01
50	70	120	50,07	75,64	125,71	0,0006	221,77
50	90	140	50,25	95,62	145,87	0,0009	171,03
50	120	170	50,00	124,56	174,56	0,0008	221,96
50	160	210	49,82	165,03	214,85	0,0008	254,43
70	70	140	69,66	75,42	145,09	0,0006	256,51
70	90	160	70,03	95,22	165,24	0,0007	239,23
70	120	190	70,04	124,42	194,45	0,0008	236,78
70	160	230	70,05	165,27	235,31	0,0009	275,30
70	200	270	70,00	203,97	273,97	0,0010	282,71
100	90	190	98,94	95,12	194,06	0,0006	306,85
100	120	220	100,20	125,21	225,42	0,0008	289,35
100	160	260	100,04	164,52	264,57	0,0010	277,76
100	200	300	100,01	204,63	304,65	0,0010	311,72
100	240	340	99,89	243,63	343,52	0,0010	357,00
150	120	270	148,94	125,14	274,08	0,0007	382,34
150	160	310	149,83	164,57	314,40	0,0009	363,00
150	200	350	150,16	204,81	354,97	0,0008	440,74
150	240	390	149,89	244,16	394,05	0,0011	365,97
150	300	450	150,18	303,52	453,70	0,00	409,71

Příloha 80 Pracovní diagram vzorku IV – 11 – 5



Příloha 81 Modul pružnosti vzorku IV – 11 – 5



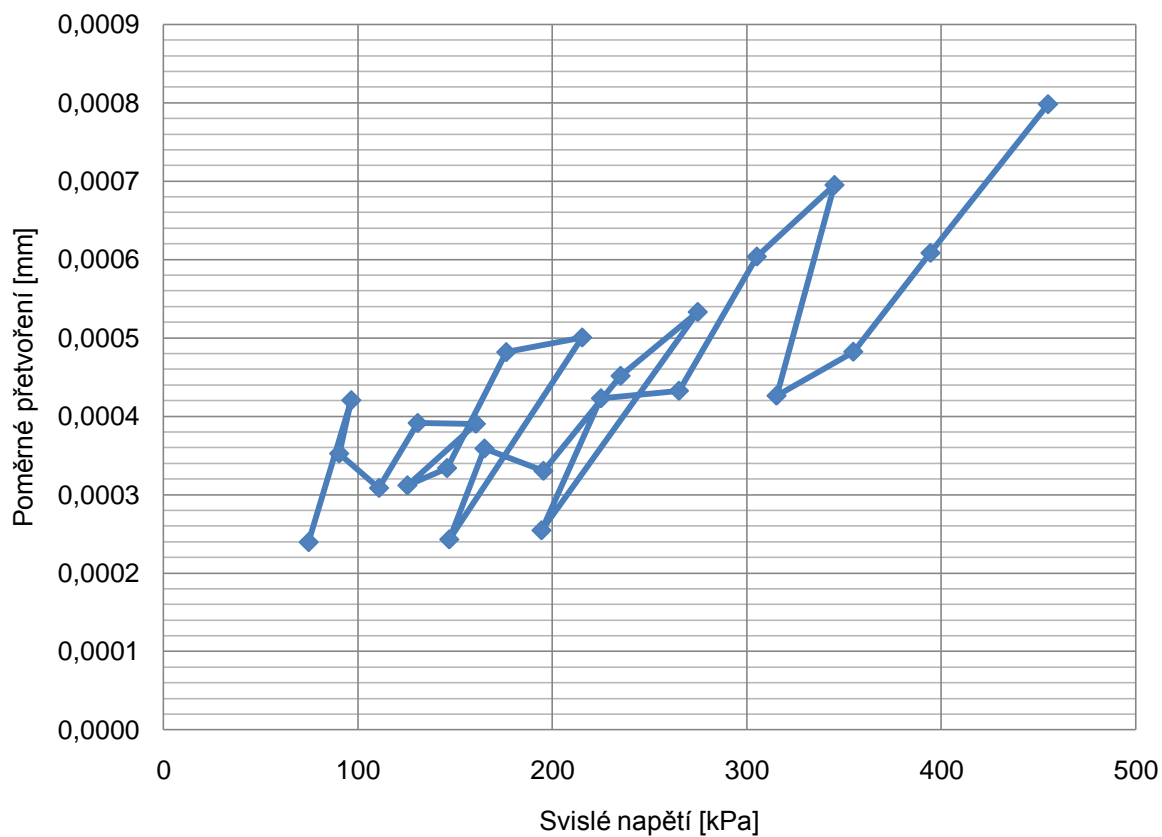
Označení směsi: IV – 5  
 Označení vzorku: IV – 12 – 5

Vlhkost vzorku: 9,75 %  
 Hmotnost vzorku: 3,026 kg

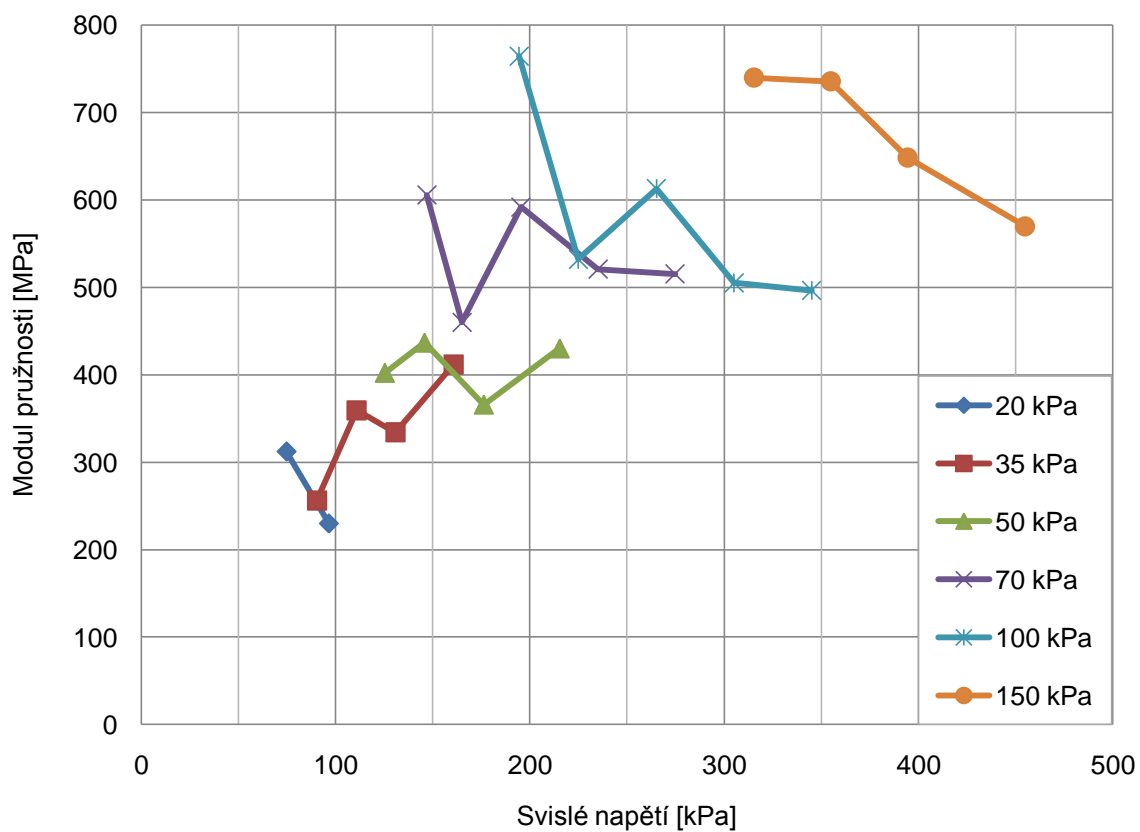
Příloha 82 Cyklická triaxiální zkouška vzorku IV – 12 – 5

STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI SMĚSI IV – 5							
Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-7 metoda B – úroveň nízkého napětí							
Normové hodnoty			Naměřené hodnoty				
Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Komorový tlak [kPa]	Deviátor napětí [kPa]	Svislé napětí [kPa]	Poměrné přetvoření [-]	Modul pružnosti [MPa]
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>28,46</b>	<b>21,26</b>	<b>49,72</b>	<b>0,0000</b>	<b>-7082,33</b>
<b>20</b>	<b>35</b>	<b>55</b>	<b>18,85</b>	<b>36,05</b>	<b>54,90</b>	<b>0,0000</b>	<b>1489,83</b>
20	50	70	19,94	54,71	74,66	0,0002	312,08
20	70	90	20,19	76,38	96,57	0,0004	229,69
<b>35</b>	<b>35</b>	<b>70</b>	<b>33,92</b>	<b>35,38</b>	<b>69,30</b>	<b>0,0001</b>	<b>641,40</b>
35	50	85	35,44	54,88	90,32	0,0004	256,31
35	70	105	34,60	76,25	110,85	0,0003	359,43
35	90	125	35,20	95,52	130,72	0,0004	334,05
35	120	155	35,08	125,58	160,65	0,0004	411,59
<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>49,32</b>	<b>54,25</b>	<b>103,57</b>	<b>0,0001</b>	<b>731,28</b>
50	70	120	49,99	75,45	125,43	0,0003	402,35
50	90	140	50,04	95,79	145,82	0,0003	436,85
50	120	170	50,25	126,04	176,30	0,0005	365,88
50	160	210	49,79	165,55	215,34	0,0005	430,23
70	70	140	69,64	77,33	146,97	0,0002	605,61
70	90	160	69,77	95,34	165,10	0,0004	460,18
70	120	190	70,05	125,36	195,41	0,0003	591,73
70	160	230	70,20	164,90	235,10	0,0005	520,65
70	200	270	70,07	204,72	274,79	0,0005	515,42
100	90	190	98,91	95,52	194,43	0,0003	764,58
100	120	220	100,01	124,99	225,00	0,0004	532,04
100	160	260	100,09	165,03	265,11	0,0004	613,00
100	200	300	100,00	205,17	305,17	0,0006	505,35
100	240	340	100,03	245,11	345,14	0,0007	496,42
<b>150</b>	<b>120</b>	<b>270</b>	<b>148,75</b>	<b>124,91</b>	<b>273,66</b>	<b>0,0002</b>	<b>1337,12</b>
150	160	310	150,18	165,13	315,32	0,0004	739,82
150	200	350	149,94	204,87	354,81	0,0005	735,58
150	240	390	149,91	244,61	394,52	0,0006	648,30
150	300	450	150,16	304,82	454,97	0,00	569,84

Příloha 83 Pracovní diagram vzorku IV – 12 – 5



Příloha 84 Modul pružnosti vzorku IV – 12 – 5



# PŘÍLOHA B

## MĚŘENÍ ÚNOSNOSTI

Príloha 85 Tabulka měřených dat

PavEx Consulting, s.r.o.		Srbská 53, 612 00 BRNO	
<b>Měřená data únosnosti</b>			
		Zákazník: VUT FAST BRNO, FAST	
		Soubor: 900.FWD	Úseky:
		Silnice: MK-Brno Černovice	
		Uzly:	
Název akce: FAST-Černovice	Začátek: 0 m	Měřil: Pavel Žůrek	
Datum měření: 23.10.2012	Konec: 185 m	Vyhodnotil: Ing. Robert Kaděrka	
Datum zpracování: 12.11.2012	Délka: 185 m	Typ povrchu vozovky: AB	

Úsek	Bod	Staničení		Pruh	Tlak [kPa]	Teplota povrchu [°C]	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9
		[m]	Úsek				[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
	Projektu					0	200	300	600	900	1200	1500	1800	2100	
1	1	4	1	1	737	13,5	243	225	205	157	118	92	75	61	53
	2	7	1	1	754	13,5	249	226	201	145	104	78	62	50	45
	3	12	1	1	750	13,5	320	268	222	122	65	43	37	31	31
	4	16	1	1	765	13,5	325	262	210	106	52	32	32	27	27
2	5	23	2	1	739	13,5	119	105	93	69	51	37	35	29	28
	6	26	2	1	731	13,5	154	136	114	73	52	38	35	28	27
	7	30	2	1	745	13,5	128	115	102	75	53	38	34	27	24
	8	34	2	1	729	13,5	92	84	76	60	45	34	31	25	23
3	9	44	3	1	757	13,5	95	87	78	62	48	35	31	26	25
	10	48	3	1	753	13,5	150	141	122	80	56	40	34	28	26
	11	52	3	1	730	13,5	95	88	80	66	52	41	37	30	28
	12	56	3	1	718	13,5	115	108	101	89	74	61	54	43	37
4	13	113	4	1	750	13,5	116	97	84	64	52	43	41	34	31
	14	117	4	1	751	13,5	95	84	74	59	47	37	34	28	25
	15	121	4	1	731	13,5	79	70	62	53	44	34	32	25	22
	16	125	4	1	734	13,5	146	127	109	76	52	36	30	23	21
5	17	133	5	1	738	13,5	180	155	136	97	66	45	35	26	22
	18	137	5	1	753	13,5	201	168	141	93	59	40	31	23	20
	19	141	5	1	753	13,5	137	116	101	74	54	38	32	23	20
	20	145	5	1	743	13,5	162	139	120	85	59	41	32	24	19
6	21	153	6	1	731	13,5	137	115	98	75	58	43	34	25	21
	22	157	6	1	741	13,5	140	114	96	70	52	37	31	24	21
	23	161	6	1	743	13,5	151	120	100	70	50	36	30	23	20
	24	165	6	1	754	13,5	156	126	100	59	38	26	23	18	17
7	25	173	7	1	744	13,5	275	225	182	99	54	35	31	26	24
	26	177	7	1	747	13,5	315	252	205	114	63	41	35	29	28
	27	181	7	1	754	13,5	315	264	213	113	61	43	40	34	33
	28	185	7	1	751	13,5	299	257	216	134	87	65	57	47	42

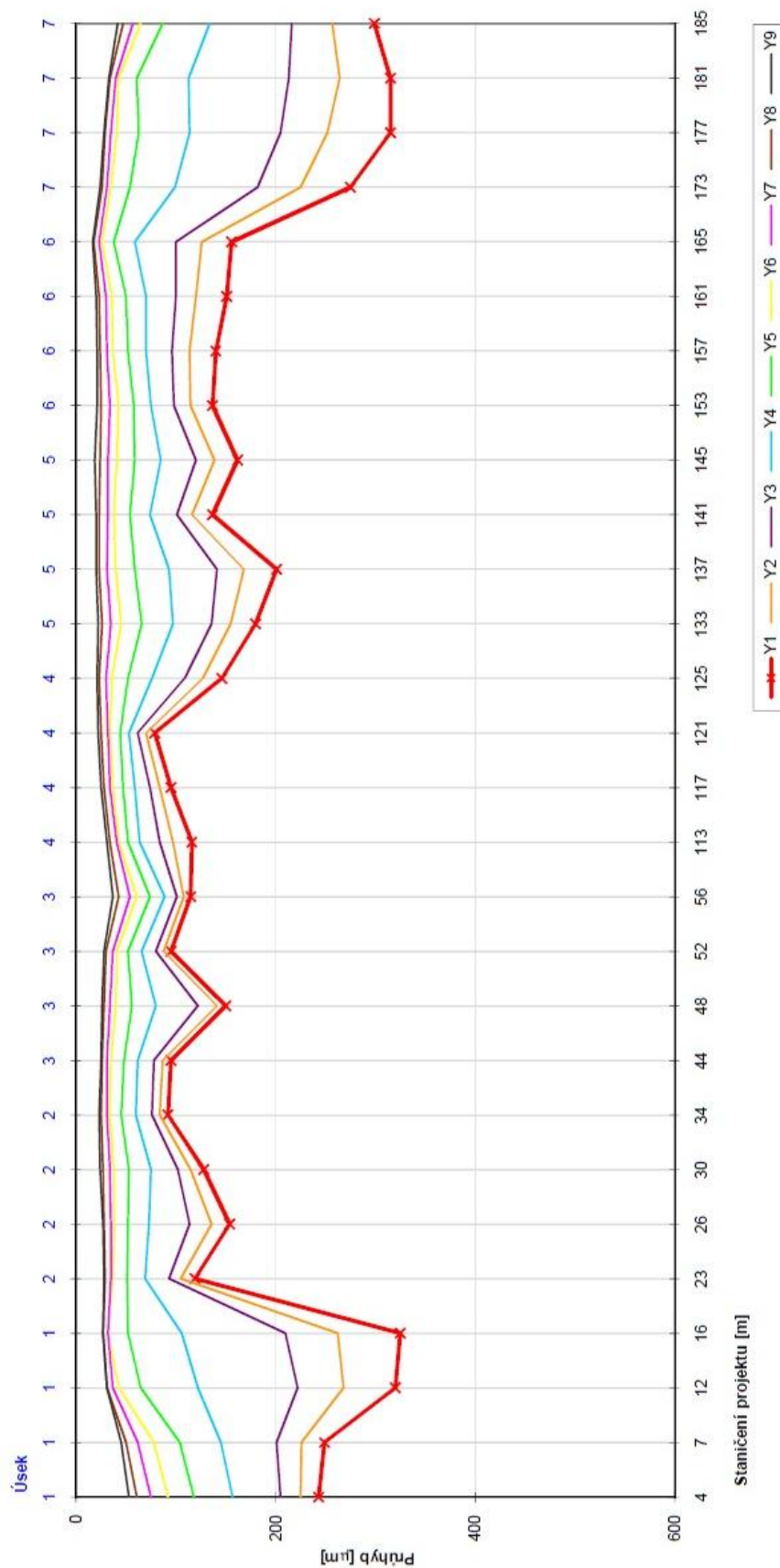
PavEx® Consulting, s.r.o. © 2012

Příloha 86 Graf měřených průhybů

## Brno - Černovice

### Průhybové čáry - zatížení 50kN


seřazeno dle staničení, jízdní pruhy společně



PavEx® Consulting, s.r.o. © 2012

## VYHODNOCENÍ ÚNOSNOSTI

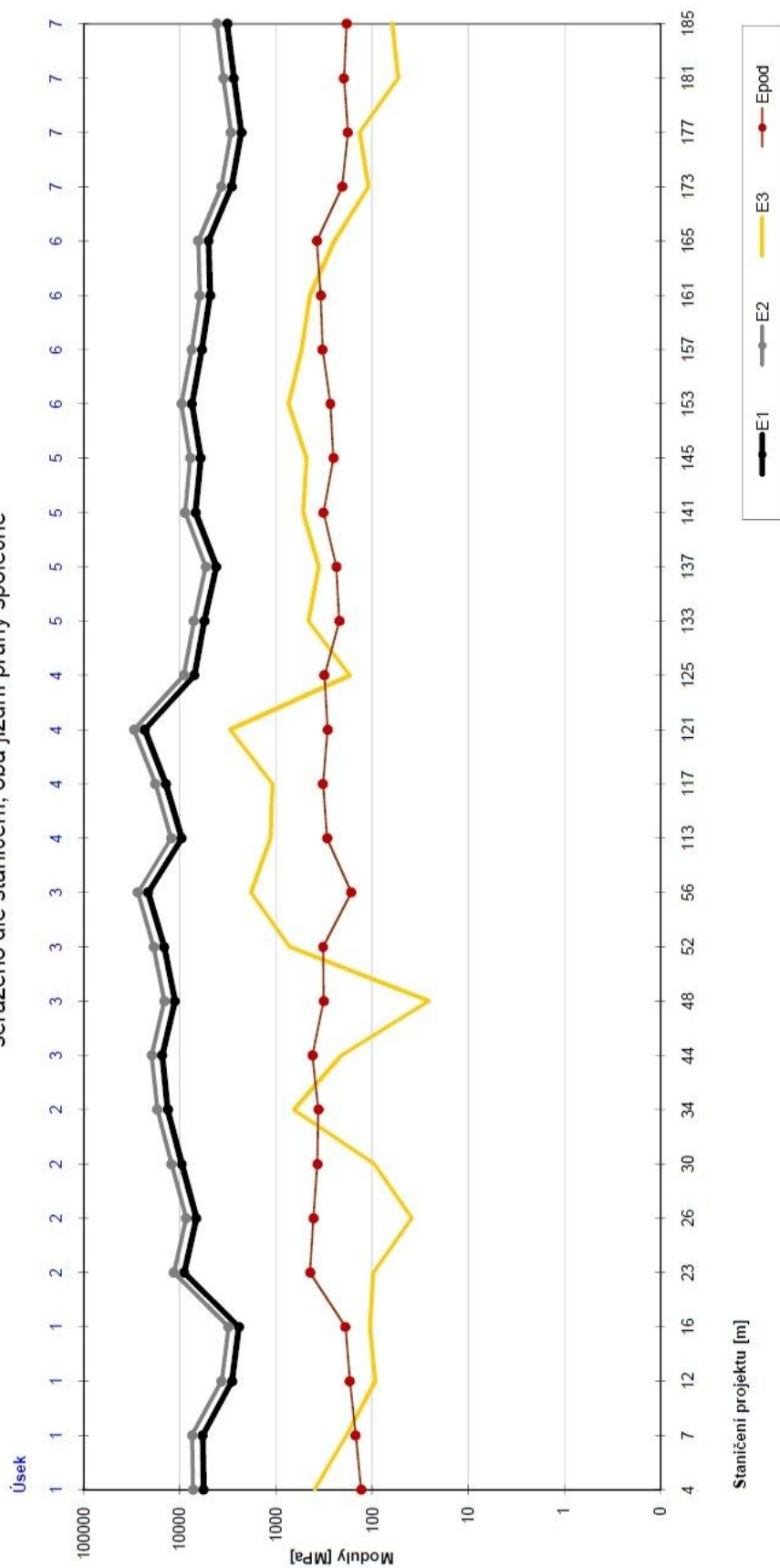
Příloha 87 Tabulka vyhodnocení únosnosti

PavEx Consulting, s.r.o.				Srbská 53, 612 00 BRNO													
Výpočet charakteristik únosnosti měřeného úseku																	
				Zákazník: VUT FAST BRNO, FAST													
				Soubor: 900.FWD													
				Silnice: MK-Brno Černovice													
Uzly:																	
Název akce: FAST-Černovice				Začátek: 0 m				Návrhové období:									
Datum měření: 23.10.2012				Konec: 185 m				Dopr. zatížení TNV:									
Datum vyhodnocení: 12.11.2012				Délka: 185 m				Typ povrchu vozovky: AB									
Výpočtové parametry				Soupis zkratk poznámek													
Poloměr zat. desky 150 mm				A		mozaik./blokové lokální trhliny				T,R		trhlina příčná, rozvětvená		F6		koleje	
Dotykový tlak 0,707 MPa				F4		mozaikové plošné trhliny				N,F5		síťové trhliny lokální/plošné					
Poissonovo číslo 0,35				V,F3		výtluky lokální,plošné				D,F1		deformace voz. lokální/plošná					
Roční růst dopravy 0,0%				F		vysprávkvy				M		most					
Návrhová teplota 20 °C				F8		ztráta drsnosti,pocení povrchu				!		anomálie v měřených datech					
Sezonní faktor 1,00				E,F2		lokální eroze, plošná hl. koroze				K		poruchy při krajnici					
Modul zes.vrstvy 5500 MPa				W		vpust, poklop kanalizace				O		obrus, začínající hl. koroze					
Úsek	Bod	Staničení		Poznámky	Tloušťky vrstev			Moduly pružnosti vrstev				H2		H3			
		Projektu	Poznámky		Pruh	H1	H2	H3	E1	E2	E3	Ep	E	mí	E	mí	
																	[mm]
1	1	4	1	1	80	150	150	5677	7281	399	130						
	2	7	1	1	80	150	150	5799	7438	185	149	400	0,30	400	0,30		
	3	12	1	1	80	150	150	2864	3674	92	170						
	4	16	1	1	80	150	150	2433	3121	106	189						
2	5	23	2	1	80	150	150	8993	11534	97	442						
	6	26	2	1	80	150	150	6731	8633	39	407	2000	0,22	400	0,30		
	7	30	2	1	80	150	150	9544	12241	95	371						
	8	34	2	1	80	150	150	13352	17126	655	363						
3	9	44	3	1	80	150	150	15301	19625	211	417						
	10	48	3	1	80	150	150	11266	14450	26	319	1200	0,23	400	0,30		
	11	52	3	1	80	150	150	14559	18674	726	323						
	12	56	3	1	80	150	150	21372	27412	1 815	165						
4	13	113	4	1	80	150	150	9580	12287	1 143	294						
	14	117	4	1	80	150	150	14001	17957	1 089	325	1200	0,23	1000	0,23		
	15	121	4	1	80	150	150	23273	29850	3 018	291						
	16	125	4	1	80	150	150	7084	9086	169	314						
5	17	133	5	1	80	150	150	5568	7142	460	220						
	18	137	5	1	80	150	150	4176	5356	358	235	400	0,30	1000	0,23		
	19	141	5	1	80	150	150	6869	8810	522	320						
	20	145	5	1	80	150	150	6087	7808	484	252						
6	21	153	6	1	80	150	150	7488	9605	737	272						
	22	157	6	1	80	150	150	5886	7549	540	328	400	0,30	1000	0,23		
	23	161	6	1	80	150	150	4842	6210	445	343						
	24	165	6	1	80	150	150	5020	6439	247	376						
7	25	173	7	1	80	150	150	2893	3711	109	205						
	26	177	7	1	80	150	150	2294	2942	135	179	600	0,25	400	0,30		
	27	181	7	1	80	150	150	2746	3522	54	196						
	28	185	7	1	80	150	150	3210	4117	62	184						

PavEx® Consulting, s.r.o. © 2012

Příloha 88 Graf modulů pružnosti

**Brno - ul. Nádvořní**  
**Moduly pružnosti - zatížení 50kN**  
 seřazeno dle staničení, oba jízdní pruhy společně



PavEx® Consulting, s.r.o. © 2012