

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra silničních staveb



ÚPRAVA A ZLEPŠOVÁNÍ ZEMIN

Diplomová práce

Leden 2020

Bc. Adam Trunec

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Trunec</u>	Jméno: <u>Adam</u>	Osobní číslo: <u>423699</u>
Zadávající katedra: <u>silničních staveb</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce a doprava</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Úprava a zlepšování zemín</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Soil Improvement and Stabilization</u>	
Pokyny pro vypracování: Vypracujte rešerši k bodům: rozdělení zemín, zatřídění zemín, vlastnosti zemín, jejich úprava a zlepšování; v praktické části proveďte úpravu nevhodné zeminy a vyhodnoťte přínosy použité úpravy	
Seznam doporučené literatury: Lamboj, L. - Štěpánek, Zdeněk: Mechanika zemín a zakládání staveb; https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/geotechnika/moznost-vyuziti-rozptylene-vyztuze-pri-uprave-vlastnosti-zemin ; Technologie stavby vozovek Ing. Jan Zajíček a kol.; příslušné normy a technické předpisy	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Petr Mondschein, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>27.9.2019</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>5.1.2020</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
Podpis vedoucího práce	Podpis <u>vedoucího</u> katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
<u>02-10-2019</u>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Úprava a zlepšování zemin vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení Ing. Petra Mondscheina, Ph.D. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků při porušení těchto práv.

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ:

Rád bych touto formou poděkoval mému vedoucímu práce panu Ing. Petru Mondscheinovi, Ph.D. za profesionální a pozitivní přístup při konzultacích a za poskytnutí potřebných informací pro tvorbu této diplomové práce.

ANOTACE:

Diplomová práce *Úprava a zlepšování zemin* se věnuje problematice vyztužování zemin pomocí sklovláknitých textilních vláken, která vznikají jako odpad při výrobě sklovláknité perlinkové tkaniny. Práce je rozdělená do pěti hlavních částí. První část se věnuje popisu zemin, jejich vlastností, rozdělení a způsobům úprav a zlepšování. Další části charakterizují materiály použité při laboratorních měřeních a měřeních in – situ, konkrétně cementobetonový a směsný recyklát, lokální zeminy a rozptýlenou výztuž. Předposlední část popisuje laboratorní měření provedená na směsích cementobetonového recyklátu a zemin s rozptýlenou výztuží a cementem. V poslední části jsou uvedena tři měření in – situ s popisem použitých směsí a dosažených únosností. Práci uzavírá shrnutí poznatků z předchozích kapitol a vyhodnocení použitelnosti rozptýlené výztuže pro vyztužování zemin a recyklátů do podkladních vrstev a zemní pláň vozovky.

KLÍČOVÁ SLOVA:

zemina, zlepšování, recyklát, vlákna, sklovláknitá textilie, mikrovyztužování, vyztužování, rozptýlená výztuž, cement, IBI, CBR, únosnost

ABSTRACT:

The diploma thesis called *Soil Improvement and Stabilization* is dedicated to the description of the soil reinforcement using glass-textile fibres, which arise as a waste in the production of glass-textil fabric. The thesis is divided into five main parts. The first part deals with the general description of soil, their properties, distribution and the methods of improvement and reinforcement. The next parts characterize the materials used in laboratory and in-situ testing, namely cement-concrete recycle mixed recycle, local soil and short fibre soil composites. The penultimate part describes laboratory testing of mixtures with glass-fibres and cement. The last part of the thesis describe three in – situ testing. The work concludes with a summary of findings from the previous parts and applicability of glass-textile fibres for reinforcement of soil and recycled grainy materials.

KEYWORDS:

soil, reinforced soil, soil improvement, recycled material, fibres, glass - textile fibres, microreinforcing, cement, IBI, CBR, stabilization

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra silničních staveb

ÚPRAVA A ZLEPŠOVÁNÍ ZEMIN

SOIL IMPROVEMENT AND STABILIZATION

Diplomová práce

Leden 2020

Vypracoval: Bc. Adam Trunec

Vedoucí práce: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.

OBSAH:

1	ÚVOD	11
1.1	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	11
2	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	13
3	ZEMINY	14
3.1	VLASTNOSTI ZEMIN	14
3.1.1	ZRNITOST	14
3.1.2	OBJEMOVÁ HMOTNOST	15
3.1.2.1	Objemovou hmotnost v přirozeném uložení	15
3.1.2.2	Objemovou hmotnost suché zeminy	15
3.1.2.3	Objemovou hmotnost zeminy plně nasycené vodou	16
3.1.3	VLHKOST (HMOTNOSTNÍ)	16
3.1.4	PÓROVITOST	16
3.1.5	OBJEMOVÁ TÍHA	17
3.1.6	KONZISTENCE A PLASTICITA	17
3.1.6.1	Konzistenční meze	17
3.1.6.2	Stupeň konzistence	18
3.1.6.3	Plasticita	18
3.2	ROZDĚLENÍ ZEMIN	18
3.2.1	DLE ZRNITOSTI	18
3.2.2	DLE PLASTICITY	21
3.2.3	DLE STUPNĚ NASYCENÍ	22
3.2.4	DLE VHODNOSTI POUŽITÍ	22
4	ZLEPŠOVÁNÍ ZEMIN	23
4.1	ŠTĚRKOPÍSKOVÉ POLŠTÁŘE	23
4.2	VYPALOVÁNÍ PŮDY - TERMICKÉ ZPEVNĚNÍ PODLOŽÍ	24
4.3	VYZTUŽOVÁNÍ ZEMIN	24
4.3.1	MAKROVYZTUŽOVÁNÍ	24
4.3.2	MIKROVYZTUŽOVÁNÍ	25
4.4	STABILIZACE	25
4.4.1	ZEMINY UPRAVENÉ CEMENTEM	27
4.4.2	ZEMINY UPRAVENÉ VÁPNEM	28
4.4.3	ZEMINY UPRAVENÉ STRUSKOU	28
4.4.4	ZEMINY UPRAVENÉ HYDRAULICKÝMI SILNIČNÍMI POJIVY	29
4.4.5	ZEMINY UPRAVENÉ POPÍLKEM	29
4.5	VÁPENOCEMENTOVÉ SLOUPY	29
4.6	ŠTĚRKOVÉ PILÍŘE	30
4.7	ŠTĚRKOPÍSKOVÉ PILOTY	30
4.8	KOMPENZAČNÍ INJEKTÁŽ	31

4.9	PROINJEKTOVÁNÍ A PROMÍCHÁNÍ ZEMINY	31
5	RECYKLOVANÝ STAVEBNÍ MATERIÁL - RECYKLÁT	32
5.1	CEMENTOBETONOVÝ RECYKLÁT	33
5.2	SMĚSNÝ RECYKLÁT	34
6	ROZPTÝLENÁ VÝZTUŽ	35
6.1	HISTORIE VYZTUŽOVÁNÍ	35
6.2	TYPY VLÁKEN	38
6.2.1	BAMBUS	38
6.2.2	JUTA	39
6.2.3	LEN	40
6.2.4	KOKOS	40
6.2.5	PALMA	41
6.2.6	SISAL	42
6.2.7	SLÁMA	42
6.2.8	TŘTINA	43
6.2.9	POLYPROPYLEN (PP)	44
6.2.10	POLYESTER (PET)	44
6.2.11	POLYETYLEN (PE)	45
6.2.12	POLYVINYL ALKOHOL (PVA)	46
6.2.13	NYLON	46
6.2.14	OCEL	47
6.2.15	SKLO	47
7	LABORATORNÍ MĚŘENÍ	49
7.1	POPIS ZKOUŠEK	49
7.1.1	STANOVENÍ ZRNITOSTI CB RECYKLÁTU	49
7.1.2	STANOVENÍ ZRNITOSTI ZEMINY	50
7.1.3	STANOVENÍ MEZE TEKUTOSTI A PLASTICITY ZEMINY	50
7.1.4	PROCTOROVA ZKOUŠKA	50
7.1.4.1	Proctor standard	50
7.1.4.2	Proctor modifikovaný	51
7.1.5	STANOVENÍ CBR A IBI	51
7.2	VSTUPNÍ MATERIÁLY	52
7.2.1	ROZPTÝLENÁ VÝZTUŽ	52
7.2.2	POJIVO - CEMENT	53
7.2.3	CB RECYKLÁT	53
7.2.4	ZEMINA	54
7.2.4.1	Zemina 1	54
7.2.4.2	Zemina 2	55
7.3	NAMĚŘENÉ HODNOTY	56
7.3.1	CB RECYKLÁT	56

7.3.1.1	Stanovení zrnitosti	56
7.3.1.2	Stanovení zhutnitelnosti	57
7.3.1.3	Stanovení Okamžitého indexu únosnosti IBI	58
7.3.1.4	Stanovení Kalifornského poměru únosnosti CBR	59
7.3.2	ZEMINA 1	60
7.3.2.1	Stanovení zrnitosti	60
7.3.2.2	Stanovení zhutnitelnosti	62
7.3.2.3	Stanovení Okamžitého indexu únosnosti IBI	63
7.3.2.4	Stanovení Kalifornského poměru únosnosti CBR	64
7.3.3	ZEMINA 2	65
7.3.3.1	Stanovení zrnitosti	65
7.3.3.2	Stanovení konzistenčních mezí a indexu plasticity	67
7.3.3.3	Stanovení Okamžitého indexu únosnosti IBI	67
7.3.3.4	Stanovení Kalifornského poměru únosnosti CBR	68
7.4	ZHODNOCENÍ	69
7.4.1	CB RECYKLÁT	69
7.4.2	ZEMINA	70
7.4.3	ZEMINA 2	71
8	MĚŘENÍ IN-SITU	72
8.1	POKUSNÝ ÚSEK VYSOKÉ MÝTO 1	72
8.2	POKUSNÝ ÚSEK VYSOKÉ MÝTO 2	74
8.3	POKUSNÝ ÚSEK ČERVENÝ ÚJEZD	75
9	CELKOVÉ ZHODNOCENÍ A ZÁVĚR	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ	81
	SEZNAM TABULEK	83
	PŘEHLED CITOVANÉ LITERATURY	84
	PŘÍLOHA A – PRŮBĚH ZKOUŠEK CBR A IBI	90
	PŘÍLOHA B – FOTODOKUMENTACE	92
	PŘÍLOHA C – TECHNICKÝ LIST Č. 8	97

1 ÚVOD

V roce 2024 má v České republice začít platit nová odpadová legislativa, která má zvýšit recyklaci a využívání odpadů a také zakázat skládkování recyklovatelného odpadu. Samozřejmě legislativa se hlavně týká komunálního odpadu, jehož produkce rok od roku rapidně stoupá, avšak dopad by měla i na stavební odpad, který většinou končí na skládkách, ale přitom by mohl být znovu využit. Proti novému nařízení se bouří řada obcí, které tvrdí, že na konec skládkování se nestihnou do uvedeného data připravit, a proto ministerstvo životního prostředí připouští posun začátku platnosti legislativy až na rok 2030. Do té doby, by měly všechny obce přijít s řešením využívání a nakládání s odpadem, které bude efektivní a zároveň omezí skládkování na minimum (ideálně na nulu). Co se týká skládkování stavebního demoličního odpadu, už v současnosti existují varianty, jak tento odpad dále zpracovat a opětovně využít pro jiné účely. Jednou z variant je použití recyklovaného odpadu pro stavbu pozemních komunikací, primárně pro stavbu zemní pláně, násypů a podkladních vrstev vozovek. Ovšem leckdy se můžeme setkat s problémem, že recyklát nedosahuje požadovaných vlastností, které bychom potřebovali, a je nutné se uchýlit k jiné alternativě. Pokud je dovoz nového stavebního materiálu (štěrků) na stavbu nákladný, je vhodné uvažovat o využití lokální zeminy (základové půdy), která vhodnou úpravou dosáhne požadovaných vlastností.

1.1 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce je seznámit se s problematikou vyztužování zemin pomocí tzv. rozptýlené výztuže. Při stavbě vozovek je potřebné, aby dílčí vrstvy splňovaly předepsané vlastnosti (hlavně potřebnou únosnost a namrzavost), které primárně souvisejí s jejich mineralogickým složením. Jen v málo případech lokální zemina splňuje dané vlastnosti a je proto nutné ji vybraným způsobem upravit/zlepšit. Mezi nejpoužívanější způsoby zlepšování patří stabilizace, která je založena na hydraulické reakci mezi pojivem a vodou, která stmelí jednotlivá zrna dohromady a vytvoří kompaktní prvek. Dalším hojně využívaným způsobem zlepšování zemin v silničním stavitelství, je tzv. makrovyztužování pomocí geosyntetik, která se vcelku vkládají do vrstev vozovek. K méně častým způsobům zlepšování, a v silničním stavitelství téměř nepoužívaným, patří například štěrkopískové polštáře, vápenocementové sloupy, mikrovyztužování a další.

Ačkoliv je právě mikrovyztužování známé už z dob starověku, od jeho používání se značně upustilo. Existuje jen málo studií, které se touto problematikou zabývaly, zvláště pak v oblasti aplikace mikrovýztuže do vozovek, a proto byla praktická část této diplomové práce zaměřena na zkoumání vlivu vybrané rozptýlené výztuže (v podobě odpadních sklovláknitých vláken) do vybraných zemin a rovněž do cementobetonového a směsného recyklátu. Měření bylo rozděleno jak na ověření vlastností v laboratorních podmínkách, tak na ověření vlastností na vybraných pokusných úsecích.

V laboratorních podmínkách byly testovány celkem tři referenční materiály: cementobetonový recyklát a dvě zeminy, které byly nejprve klasifikovány a pak podrobeny zkouškám na zhutnitelnost a únosnost. Z každého referenčního materiálu byly vytvořeny směsi s různým objemem a tvarem vláken, příp. doplněné hydraulickým pojivem. Na těchto směsích byla opět stanovena únosnost, která se porovnala s referenční hodnotou.

Měření na pokusných úsecích sloužilo k ověření výsledků z laboratorních zkoušek a k vyhodnocení praktického použití odpadních materiálů jako vhodných prvků pro stavbu konstrukčních vrstev vozovek, příp. jako vhodného vyztužovacího prvku do nevhodných, nebo podmíněčně vhodných zemin.

2 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

b – balvany

cb – kameny

g – štěrk

s – písek

f – jemnozrnné částice

c – jíł

m – prach

CEM – cement

CB – cementobetonový

X – jiné částice v recyklátu

Y – ostatní částice v recyklátu

FL – plovoucí částice v recyklátu

CBR – Kalifornský poměr únosnosti

IBI – Okamžitý index únosnosti

UCS – neomezená pevnost v tlaku

PP – polypropylen

PET – polyetylen

PE – polyester

PVA – polyvinyl alkohol

AREF – označení referenční směsi cementobetonového recyklátu

A1, A2, A3 – označení směsí z cementobetonového recyklátu

BREF – označení referenční směsi zeminy 1

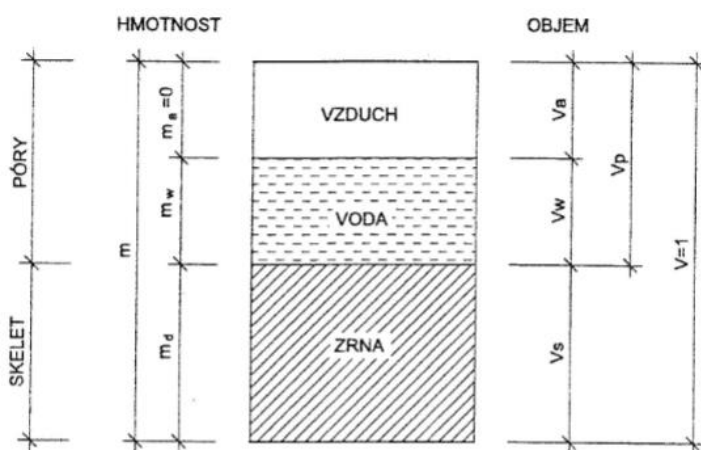
B1, B2, B3 – označení směsí ze zeminy 1

CREF – označení referenční směsi zeminy 2

C1, C2 – označení směsí ze zeminy 2

3 ZEMINY

Dle normy se jedná o soustavu minerálních částic a organických hmot. Z jiného hlediska můžeme k zemině přistupovat jako k soustavě pevných částic, vzduchu a pórů, které mohou být zčásti, nebo úplně vyplněny vodou. Obsah vody v zemině, resp. jemných částic je velmi důležitý pro její následující zatřídění a závisí na tom, jestli je možné zeminu použít do aktivní zóny, násypového tělesa, či do podloží konstrukce vozovky, nebo nikoliv. [1]



Obrázek 1 - Trojfázový systém zeminy [27]

Dle jiného zdroje lze zeminu popsat jako soubor úlomků hornin a zrn jednotlivých minerálů, které mezi sebou nemají pevné strukturální vazby, proto jsou nezpevněné (nesoudržné), nebo jen slabě zpevněné. Vznikají především mechanickým a chemickým zvětráváním. [2]

3.1 VLASTNOSTI ZEMIN

Z hlediska mechaniky zemin určujeme u zemin tzv. základní (neboli popisné či indexové) vlastnosti, mezi které patří zrnitost, objemová hmotnost, objemová tíha, pórovitost, vlhkost, stupeň saturace, plasticita, konzistence a také ulehlost u písčitých a šterkovitých zemin. [1] [2] [3]

3.1.1 ZRNITOST

Neboli granulometrické složení nám slouží k pojmenování, zatřídění zeminy do klasifikačního systému a pro odhad dalších vlastností. Je vyjádřena graficky zrnitostní křivkou, která se získá mechanickým rozborem a udává podíl jednotlivých skupin frakcí v celkovém množství zeminy. [1] [2] [3]

Samotný mechanický rozbor zahrnuje prosévání na sadě normovaných sít s velikosti ok od 0,063 mm do 128 mm. Pro zrna jemnější než 0,125 mm se obsah jednotlivých částic určuje pomocí hustoměrné metody. [1] [2] [3]

Výsledná křivka zrnitosti se pak složí z výsledků prosévací a hustoměrné zkoušky. Pro přehlednost je vodorovná osa, která vyjadřuje velikost zrn, v logaritmickém (log 10) měřítku. Svislá osa vyjadřuje procentuální zastoupení celkových propadů na jednotlivých normovaných sítích. [1] [2] [3]

Dle procentuálního zastoupení jednotlivých velikostí zrn se zemina klasifikuje (viz kap. 3.2.1). Dále z křivky zrnitosti můžeme určit namrzavost, účinnou velikost zrna, číslo nestejnozrnnosti a číslo křivosti. [1] [2] [3]

3.1.2 OBJEMOVÁ HMOTNOST

Tato veličina udává poměr hmotnosti k objemu a na základě toho, jakou hmotnost a objem použijeme, získáme různé typy objemových hmotností. Je měřítkem ulehlosti. [1] [2]

3.1.2.1 Objemovou hmotnost v přirozeném uložení

Veličinu označujeme malým řeckým písmenem ρ . Jedná se o poměr celkové hmotnosti zeminy m k celkovému objemu zeminy V . [1] [2]

Její hodnota se určí ze zkoušky dle ČSN 72 1010.

3.1.2.2 Objemovou hmotnost suché zeminy

Tuto veličinu také značíme malým řeckým písmenem ρ , avšak s indexem d (dry = suchý). Vyjadřuje poměr celkové hmotnosti suché zeminy m_d k celkovému objemu zeminy V . [1] [2]

Její hodnota se určí ze zkoušky dle ČSN 72 1010.

3.1.2.3 **Objemovou hmotnost zeminy plně nasycené vodou**

Objemová hmotnost zeminy plně nasycené vodou je také značena malým řeckým písmenem ρ , tentokrát s indexem sat (saturovaná). Vyjadřuje poměr celkové hmotnosti nasycené zeminy m_{sat} k celkovému objemu zeminy V . [1] [2]

3.1.3 **VLHKOST (HMOTNOSTNÍ)**

Pro stanovení vlhkosti se postupuje dle ČSN CEN ISO/TS 17892-1. Obvykle se vyjadřuje v procentech a vypočítá se jako poměr celkové hmotnosti vody v zemině k celkové hmotnosti pevných částic, nebo ji také můžeme vyjádřit jako poměr rozdílu objemové hmotnosti v přirozeném uložení a objemové hmotnosti suché zeminy k objemové hmotnosti suché zeminy. Tato veličina je velmi důležitá hlavně u zemin s vyšším obsahem jílu, protože se od ní odvíjejí mechanické vlastnosti zeminy. [1] [2]

Další veličina, která bezprostředně souvisí s vlhkostí, je *Stupeň nasycení* neboli *Stupeň saturace*. Vyjadřuje, jak velká část pórů zeminy je vyplněna vodou a můžeme ji vypočítat jako poměr objemové vlhkosti k pórovitosti. Obvykle se ještě vynásobí 100 a dostane se tak hodnota v procentech. [1] [2]

3.1.4 **PÓROVITOST**

Tato veličina se také běžně vyjadřuje v procentech a vyjadřuje poměr celkového objemu pórů v zemině k celkovému objemu zeminy. Na základě pórové struktury, tvaru, objemu a prostorovém uspořádání pórů a možnosti vzájemné komunikace mezi póry, můžeme předpovídat negativní vlastnosti zeminy při styku s vodou. [1] [2]

S pórovitostí souvisí také *Číslo pórovitosti*, které nám udává poměr celkového objemu pórů v zemině k celkovému objemu pevné fáze zeminy. Pokud známe, resp. stanovíme mezní hodnoty čísla pórovitosti (e_{min} a e_{max}), lze dle ČSN 72 1018 vypočítat tzv. *Index relativní hutnosti* a díky ní zeminu rozdělit dle ulehlosti (viz kap.3.2). Relativní ulehlost je velmi důležitá veličina hlavně u písčítých a štěrkovitých zemin, protože zohledňuje kolísání pórovitosti v závislosti na tvaru zrn, způsobu uložení a vlhkosti zeminy. [1] [2]

3.1.5 OBJEMOVÁ TÍHA

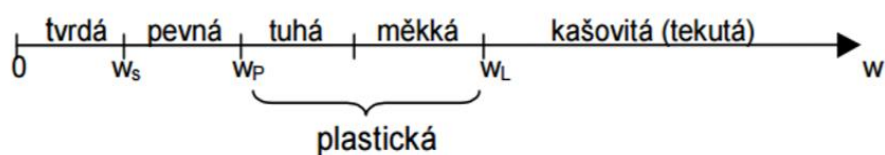
Jedná se o veličinu, která je velmi důležitá při výpočtu zatížení, kterým zemina působí na svůj podklad. Vypočítá se jako součin objemové hmotnosti v přirozeném uložení a gravitačního zrychlení, které se většinou zaokrouhlí na hodnotu 10 m.s^2 , čímž vzniká přibližně 2 % odchylka. [1] [2]

Také můžeme u zeminy určit *Objemovou tíhu pod hladinou vody* a to tak, že od objemové tíhy plně nasycené zeminy odečteme objemovou tíhu vody. [1] [2]

3.1.6 KONZISTENCE A PLASTICITA

Pojem konzistence je definován jako fyzikální stav soudržné zeminy v závislosti na vlhkosti. Zemina se postupně plní vodou (nasákává se) a tím se mění její stav. Dle ČSN EN 1997-1 rozlišujeme 4 základní konzistenční stavy - tvrdý, pevný, plastický (rozdělujeme na tuhý a měkký) a kašovitý (tekutý). Mezi jednotlivými stavy neexistují pevné hranice, proto jsou mezi nimi zavedené tzv. *konzistenční meze*, které jsou známy také jako *Atterbergovy vlhkostní meze* nebo jen jako *vlhkostní meze*. Konzistence je velmi důležitá charakteristika, neboť vyjadřuje odolnost zeminy proti deformaci. [1] [2]

3.1.6.1 Konzistenční meze



Obrázek 2 - Konzistenční stavy zeminy

- w_s - mez smrštění; nastává při přechodu z tvrdého do pevného stavu
- w_p - mez plasticity; nastává při přechodu z pevného do plastického (nebo také tuhého) stavu
- w_L - mez tekutosti; nastává při přechodu z plastického (nebo také měkkého) do kašovitého (tekutého) stavu

Pro stanovení určité meze se postupuje vždy podle příslušné normy. Každá mez (neboli vlhkost) je uvedena v procentech. [1] [2]

3.1.6.2 Stupeň konzistence

Pokud bychom chtěli konzistenci vyjádřit číselně, použijeme k tomu stupeň konzistence. Vypočítá se jako podíl rozdílu původní vlhkosti zeminy a meze plasticity k rozdílu meze tekutosti a meze plasticity. Dle získaného výsledku můžeme zeminu zatřídit dle konzistence na tvrdou pevnou plastickou nebo kašovitou. [1] [2]

3.1.6.3 Plasticita

Jedná se o stav zeminy, který závisí na mezi tekutosti a je stanovený výpočtem. S tzv. plastickým chováním se však setkáme jen u některých jemnozrnných zemin, které v závislosti na vlhkosti mění svůj objem a konzistenci, nebo také u materiálů, které při konstantním silovém působení stále mění svůj tvar, ale kladou stále stejný odpor. Zemina, která se chová plasticky, je taková, která přijímá vodu, ale nemění svůj stav. [1] [2]

Primárně se plasticita vyjádří z diagramu plasticity, který udává závislost indexu plasticity na mezi tekutosti. Diagram slouží hlavně k rozlišení, zda je jedná o jílovitou, nebo hlinitou zeminu a jak vysokou má plasticitu. Číslo plasticity získáme výpočtem, a to tak, že od hodnoty meze tekutosti odečteme hodnotu meze plasticity. Obecně lze říct, že číslo plasticity udává, v jakém rozpětí vlhkostí se zemina chová jako plastelína. [1] [2]

3.2 ROZDĚLENÍ ZEMIN

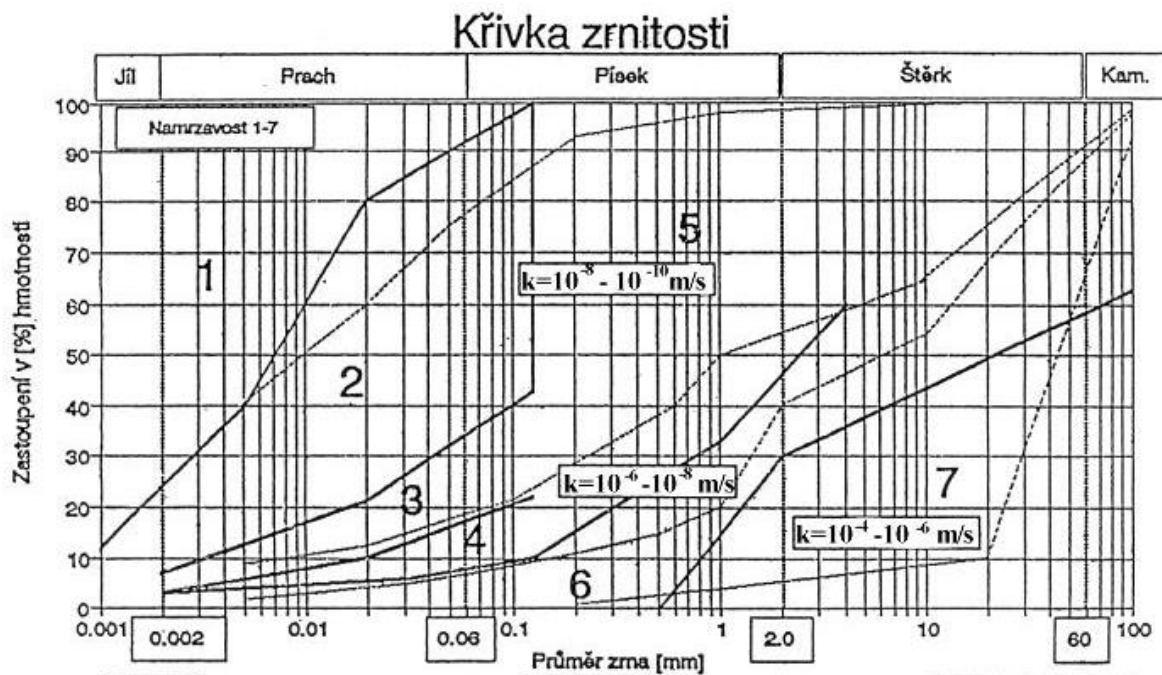
3.2.1 DLE ZRNITOSTI

Zrnitostní složení je základním kvalitativním znakem zemin a k jejímu zatřídění postupujeme dle normy ČSN EN 1997-1. Zrna se dle velikosti dělí na následující frakce:

ZRNA	FRAKCE	SYMBOL		VELIKOST [mm]
VELMI HRUBÉ	Balvany	b		> 200
	Kameny	cb		200 - 60
HRUBÉ	Štěrk	g		60 - 2
	Písek	s		2 - 0,060
JEMNÉ	Prach	f	m	0,063 - 0,002
	Jíl		c	< 0,002

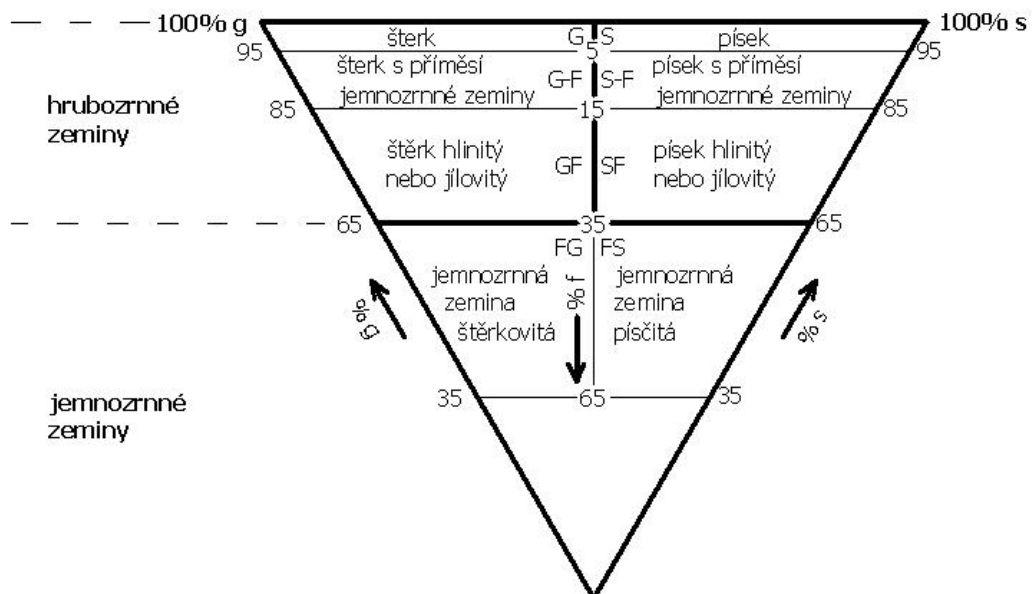
Tabulka 1 – Rozdělení zemin dle velikosti zrna [2]

Po prosévací a hustoměrné zkoušce se vynesou křivky zrnitosti.

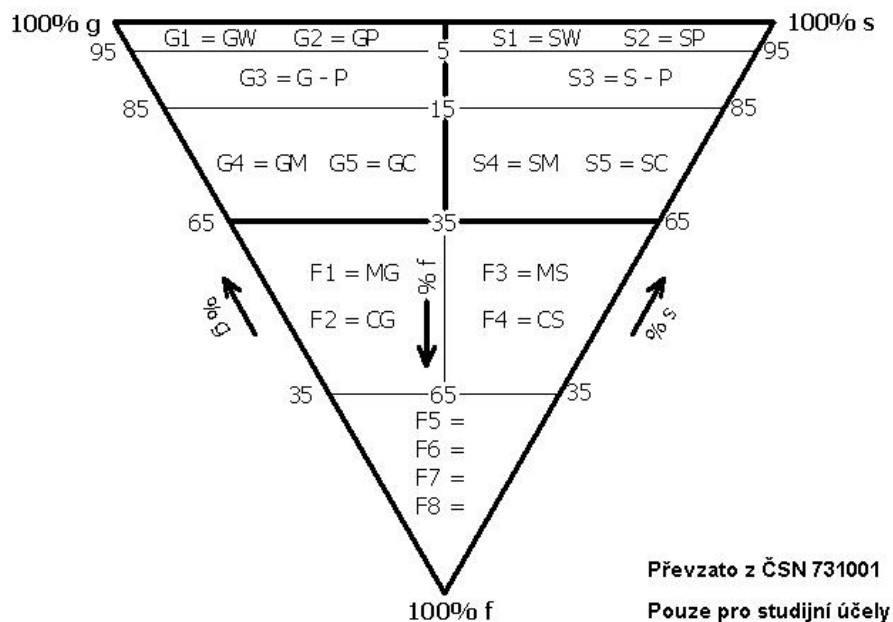


Obrázek 3 - Křivka zrnitosti [25]

Pokud se v zemině nachází většina zrn menších než 60 mm, její přesné zařazení se provede podle tzv. trojúhelníkového diagramu. Ten je rozdělen na 3 základní části: procentuální zastoupení písku, procentuální zastoupení štěrku a procentuální zastoupení jemnozrnných částic. Zemina se tedy může klasifikovat, jako písčité, štěrkovité nebo jemnozrnné. Samotné zařazení se provede tak, že na svislou osu vyneseme procentuální zastoupení jemných částí v zemině, čímž se vymeze, zda je zemina jemnozrnná, nebo hrubozrnná. Pro specifikaci, zda je zemina písčité, nebo štěrkovité, vyneseme i zbylé procentuální zastoupení písku a štěrku. Tam, kde se vynesené rovnoběžky protnou, nám přesněji definuje zkoumanou zeminu. [1] [2]



Obrázek 4 - Trojúhelníkový diagram 1 [25]



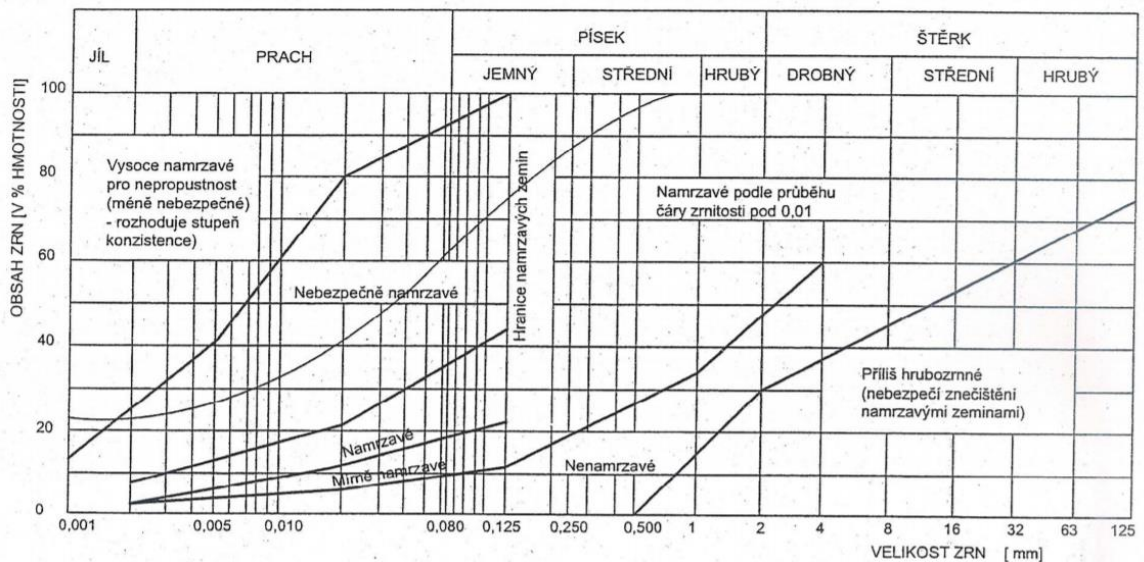
Obrázek 5 - Trojúhelníkový diagram 2 [25]

Z rozdělení dle zrnitosti nám vyplývá, že můžeme zeminy klasifikovat jako:

- balvanité
- kamenité
- štěrkovité
- písčité
- jemnozrné

Další rozdělení zemin, které můžeme získat z křivky zrnitosti je rozdělení dle namrzavosti. Důležitým ukazatelem pro toto vyhodnocení je koeficient propustnosti (k), jehož mezní hodnoty tvoří hranice mezi jednotlivými typy zemin. Jeho hodnota se stanovuje buď v laboratoři, nebo in situ. Zeminy dle namrzavosti (odborně dle Scheiblova kritéria) lze rozdělit na: [1] [2]

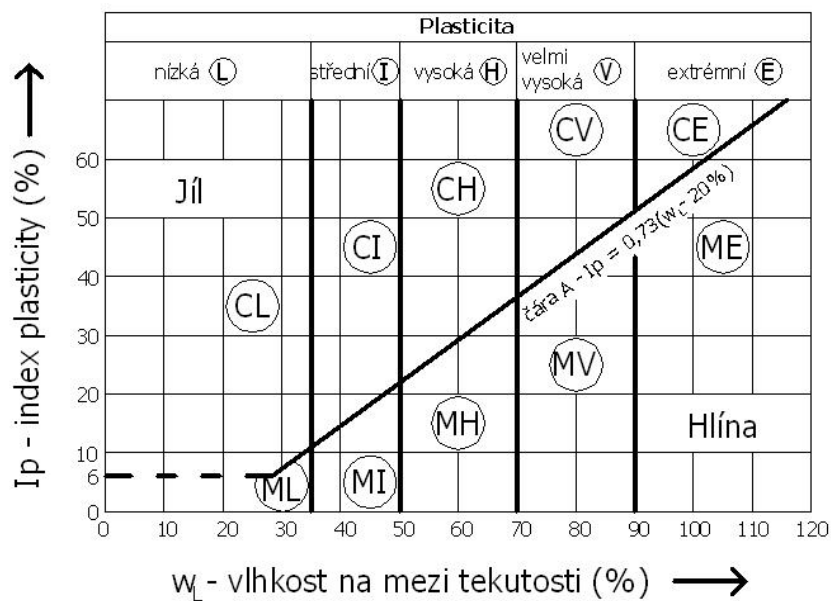
- vysoce namrzavé
- nebezpečně namrzavé
- namrzavé
- mírně namrzavé
- nenamrzavé



Obrázek 6 – Sheibleho kritérium namrzavosti [26]

3.2.2 DLE PLASTICITY

Toto kritérium nám slouží jen k doplnění klasifikace dle zrnitostního rozdělení. Přesnější určení, zda se jedná např. o zeminu písčito hlinitou, či písčito jílovitou získáme z diagramu plasticity. [1] [2]



Převzato z ČSN 731001 - Pouze pro studijní účely

Obrázek 7 - Diagram plasticity [25]

Po vynesení hodnot meze tekutosti a indexu plasticity, lze určit bližší specifikaci zeminy. Jestliže již při vynášení do trojúhelníkového diagramu bylo procentuální zastoupení jemnozrnných částic vyšší než 65 %, pro určení typu zeminy vycházíme rovnou z diagramu plasticity. [1] [2]

Z rozdělení zeminy dle plasticity tedy vychází přesnější pojmenování zeminy a zároveň můžeme zeminu klasifikovat jako: [1] [2]

- s nízkou plasticitou
- se střední plasticitou
- s vysokou plasticitou
- s velmi vysokou plasticitou
- s extrémní plasticitou

3.2.3 DLE STUPNĚ NASYCENÍ

Zeminy klasifikujeme jako: [1] [2]

- | | |
|------------------|-------------------|
| • suché | $S_r = 0-0,02$ |
| • zavlhlé | $S_r < 0,25$ |
| • vlhké | $S_r = 0,25-0,80$ |
| • velmi vlhké | $S_r > 0,80$ |
| • vodou nasycené | $S_r = 1,00$ |

3.2.4 DLE VHODNOSTI POUŽITÍ

Rozlišujeme:

- Vhodnou zeminu
- Podmínečně vhodnou zeminu
- Nevhodnou zeminu
- Nepoužitelnou zeminu

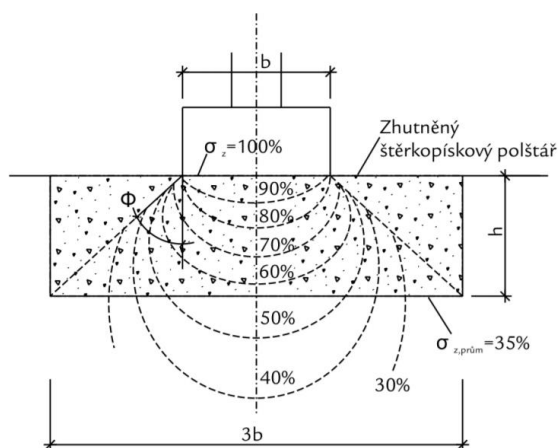
Pokud je zemina klasifikovaná jako vhodná, není potřeba ji nijak upravovat a může se ihned použít. Jedná-li se o podmíněčně vhodnou zeminu, je prvotně vhodná k přímému použití bez úprav, ale zároveň je nutné ověřit další vlastnosti, které rozhodnou, zda je potřeba ji nějak dále upravit, či nikoliv. Nevhodná zemina se nesmí použít bez předchozí úpravy. Mezi ně patří hlavně zeminy s převahou jemnozrnných částic. [1] [2]

4 ZLEPŠOVÁNÍ ZEMIN

Pro vybudování kvalitního podloží a konstrukčních vrstev vozovky je potřeba zajistit kvalitní a dostatečně únosné materiály. Někdy je možné si z ekonomického hlediska dovést požadovanou ideální směs na stavbu a je nutné přistoupit k použití lokálních zdrojů. Problém nastává, když tyto zdroje v přirozeném stavu nesplňují normou předepsané vlastnosti a je nutné přistoupit k jejich úpravám. Způsob, jakým je možné zeminu upravit, závisí na fyzikálně-mechanických vlastnostech a chemickém složení zeminy. Obvykle se zlepšují zeminy, které jsou klasifikované jako nevhodné, nebo podmíněčně vhodné k přímému použití a jejichž úprava je ve srovnání s jinými variantami ekonomická. [4] [5]

Existuje mnoho variant, jak zeminy (základové půdy) zlepšit, aby bylo docíleno požadované únosnosti, zlepšení smykové pevnosti a zmenšení propustnosti (namrzavosti). Pokud provádíme úpravu jen ve vrchní části podloží, jedná se o povrchové zlepšení, pokud je třeba zasáhnout více, provádí se tzv. hloubkové zlepšení. Mezi povrchová zlepšování patří štěrkopískové polštáře, vypalování půdy, vyztužování a stabilizace. Do hloubkového řadíme vápenocementové sloupy, štěrkové pilíře, štěrkopískové piloty, kompenzační injektáž a proinjektování a promíchání zeminy. [4] [5]

4.1 ŠTĚRKOPÍSKOVÉ POLŠTÁŘE



Obrázek 8 - Schéma štěrkopískového polštáře pod plošným základem [28]

Hlavním cílem štěrkopískového polštáře je nahradit neúnosnou podkladní zeminu tak, aby bylo dosaženo lepší únosnosti a zmenšení namrzavosti podloží. Tato metoda je nejčastěji využívána pro plošné základy pozemních staveb a v dopravním stavitelství není příliš využívána. Pro dosažení požadovaných vlastností je nutné

dodržet správné hutnění. Štěrkopískový polštář vytváří propustnou vrstvu v zemině, která plní funkci drenu a tím pomáhá snížit namrzání zeminy. Při návrhu jeho rozměrů se postupuje stejně jako při výpočtu rozměrů základových patek (pasů). [5] [6]

4.2 VYPALOVÁNÍ PŮDY - TERMICKÉ ZPEVŇOVÁNÍ PODLOŽÍ

Principem termického zpevňování podloží je zahřátí zeminy proudem horkých plynů, které jsou do zeminy přiváděny ve svislých, horizontálních a šikmých vrtech. Plyny zeminu zahřejí na přibližně 800°C - 900°C, tím zemina trvale ztratí svou plasticitu a díky chemickým reakcím se jednotlivá zrna spojí v jeden kompaktní celek. Výsledná hmota se velmi podobá keramice. Metoda se dá aplikovat pouze na rozbídné soudržné zeminy. [5]

4.3 VYZTUŽOVÁNÍ ZEMIN

Tato metoda povrchového zlepšování vychází z analogie vyztužování betonu ocelovou výztuží. V závislosti na velikosti výztuže dělíme způsoby vyztužování na makrovyztužování a mikrovyztužování. [5]

4.3.1 MAKROVYZTUŽOVÁNÍ

Do zemin jsou vkládány speciální rohože, které jsou zpravidla kladeny vcelku a v několika vrstvách nad sebou. Jejich úkolem je zvýšit smykovou pevnost, stabilitu a snížit příčné deformace v zemině (tedy i celkové sedání) a zamezit vytlačování a posouvání zeminy z podloží. Nejhojněji používanými výztužemi jsou hliníkové, ocelové a umělohmotné pásy a geosyntetické výrobky (geosyntetika). [7]



Obrázek 9 - Pokládka geosyntetik [29]

Právě geosyntetické výrobky jsou nejvíce používány v dopravním stavitelství, protože mimo jiné zamezují horizontálnímu posunu zásypového materiálu a tím předcházejí vzniku "kolejí". Dle ČSN EN ISO 10318 se geosyntetika dělí na geotextilie, geomříže, geosítě, georochože a další. V dopravních stavbách se nejvíce využívají geotextilie a geomříže. [7]

4.3.2 MIKROVYZTUŽOVÁNÍ



Obrázek 10 - Příklad vláken rozptýlené výztuže [30]

Další způsob vyztužování zeminy spočívá v aplikování tzv. rozptýlené výztuže do zeminy. Výztuhy jsou oproti geosyntetikám menší a jsou v zemině rozmístěny náhodně s různou orientací. Nejčastěji používanými materiály jsou kousky geosyntetik, tenká vlákna, nebo i syntetické částice z PET lahví. Bohužel v praxi tato metoda zatím není moc používaná a většina získaných poznatků vychází pouze z laboratorních měření. [8]

Jelikož je tato práce zaměřená na mikrovyztužování, popis používaných výztuh je uveden v samostatné kapitole.

4.4 STABILIZACE

Jedná se asi o nejznámější způsob zlepšování zemin, který se na území České republiky hojně využívá. Princip spočívá v aplikaci hydraulického pojiva do zeminy tak, aby došlo k zvýšení modulu přetvárnosti, snížení vlhkosti zeminy, snížení čísla plasticity, zvýšení poměru únosnosti a snížení míry namrzavosti. Aplikace pojiva probíhá buď na místě rozprostření na zeminu a následným promícháním, nebo v mísícím centru. Jde o nejefektivnější způsob zlepšování zemin, neboť ke změně vlastností zeminy dojde okamžitě a rychle. [4] [5]

Hlavní zkoumaným faktorem při zlepšení zeminy pojivem je požadovaná míra zhutnění, která závisí na vlhkosti zeminy. Pro její stanovení se vychází z Proctorovy zkoušky. Před samotným zhutněním upravené zeminy je nutné, aby se vlhkost zeminy nelišila o více, než jsou meze vlhkostí odpovídající požadované míře zhutnění zjištěné z Proctorovy standardní zkoušky vzorku zeminy. Další faktor, který musí být dodržen, je množství vzduchových pórů po zhutnění, jejichž obsah nesmí být vyšší než 12 %. Při větším množství může docházet k prosedání, nebo k opožděné reakci pojiva. Pro splnění požadavku na minimální obsah pórů je možné použít i větší hutnící energii, např. Proctor modifikovaný. [4] [5]

Před úpravou zeminy je vhodné zjistit obsah chemických látek v zemině, protože mohou nepříznivě reagovat s pojivem, a tím i ovlivnit průběh reakce a výsledné chování zeminy. Například organické látky využijí pojivo ke své neutralizaci a tím spotřeba pojiva vzroste, proto pro stavbu těles PK je povoleno použít zeminu s obsahem organických látek do 6 %. Z dlouhodobého hlediska chování zeminy je vhodné sledovat obsah chloridů v zemině, neboť urychlují zpevňování zeminy a zároveň způsobují bobtnání. Fosfáty a dusičnany zpomalují hydraulickou reakci a obvykle pocházejí z intenzivního hnojení polí. Naopak sulfáty a sulfidy urychlují tuhnutí, ale pokud obsahují větší množství síranů a siřičitanů mohou reagovat s vodou a vést k objemovým změnám zeminy. Průkazní zkoušky musíme provádět vždy, pokud se v zemině vyskytuje vyšší obsah sulfátů a sulfidů, protože rovněž způsobují objemové změny zeminy. Maximální povolený obsah sulfátů v zemině je 1,5 %. [4] [5]



Obrázek 11 – Postup stabilizace vrstvy vozovky [31]

Dříve se dle ČSN EN 14227 rozlišovaly zeminy následovně:

- Zeminy upravené cementem - část 10
- Zeminy upravené vápnem - část 11
- Zeminy upravené struskou - část 12
- Zeminy upravené hydraulickými silničními pojivy - část 13
- Zeminy upravené popílkem - část 14

Dnes je v platnosti pouze část 15 – Zeminy stabilizované hydraulickými pojivy, které zahrnují předchozí neplatné části.

4.4.1 ZEMINY UPRAVENÉ CEMENTEM

Cement musí odpovídat normě ČSN EN 197-1. [4]

Vhodnými cementy jsou: [4]

- CEM I Portlandský cement
- CEM II Portlandský cement směsný
vyjma: CEM II/B-L, CEM II/B-LL, CEM II/B-M
- CEM III Vysokopecní cement
vyjma: CEM III/C
- CEM IV Pucolánový cement
- CEM V Směsný cement

Při použití jiného cementu, musí pojivo splňovat požadavky na hydraulické silniční pojivo dle ČSN EN 72 2080 a prEN 2082-2. [4]

Zlepšování pomocí cementu je vhodné pro jemnozrnné zeminy s nízkou plasticitou, obvykle s indexem plasticity nižším než 30. Pokud má zemina vyšší index plasticity, upraví se nejprve vápnem, čímž se index sníží. [4] [9]

Z dlouhodobého hlediska dochází v zeminách vlivem cementu k zpevňování a k zvyšování pevnosti směsi. [4] [9]

4.4.2 ZEMINY UPRAVENÉ VÁPNEM

Je povoleno používat vzdušná jemně mletá nehašená vápna, které vyhovují normě ČSN EN 459-1 ed. [4]

Úprava vápnem je vhodná pro jemnozrnné zeminy se střední a vysokou plasticitou, spraší a sprašových hlín, nebo pro zeminy s kyselým pH bez obsahu sulfátů. Díky chemické reakci mezi jílovitými minerály a vápnem, dojde ke změně struktury z vrstevnaté na zrnitou, která umožňuje flokulaci a aglomeraci. Výsledkem je zrnitý materiál, který z dlouhodobého hlediska vykazuje vyšší pevnost v prostém tahu, vyšší hodnotu CBR a vyšší odolnost proti mrazu. [4] [9]

Princip zlepšení vlastností pomocí vápna je založen na tzv. pucolánové reakci. Ačkoliv jsou některé zeminy klasifikované jako jíly, nedochází u nich právě k této reakci, tudíž je nelze vápnem zlepšit. Jedná se například o sericitické jíly s vysokým obsahem slíd, nebo jíly s vysokým obsahem organických hmot, dusíkatých sloučenin nebo sulfátů. [4] [9]

V případě, že je vápno dávkováno ve větším množství a jsou nepříznivé klimatické podmínky, může stavební úřad nařídít použití práškového pojiva se sníženou prašností, aby se předešlo znečištění ovzduší v okolí silniční stavby. [4] [9]

4.4.3 ZEMINY UPRAVENÉ STRUSKOU

Nejčastěji využívaným typem strusek jsou vysokopecní granulovaná struska nebo peletizovaná struska, které musí splňovat požadavky dle ČSN EN 14 227-2 a ČSN EN 197-1. [4]

Struska vzniká jako vedlejší produkt při výrobě surového železe ve vysoké peci. Strusková tavenina se prudce zchladí, čímž vznikne granulovaná vysokopecní struska, která se rozemele na drobný prášek. Výsledné vlastnosti strusky se odvíjejí od roztavené železné rudy, avšak chemické složení je velmi proměnné. Jelikož i hydraulické reakce jsou proměnné, používá se aktivátor (např. cement) k vyvolání, nebo k urychlení těchto reakcí. Úprava struskou je vhodná pro zeminy s vysokým obsahem sulfátů. [4] [9]

Bohužel v České republice zatím není strusku možné využívat jako pojivo do zemin. [4] [9]

4.4.4 ZEMINY UPRAVENÉ HYDRAULICKÝMI SILNIČNÍMI POJIVY

Jiným názvem směsná pojiva, vznikají smísením vhodných pojiv, např. cementu a vápna. Jejich výsledná účinnost musí být doložena laboratorními průkazními a provozními zkouškami. Aplikace směsných pojiva je vhodná pro zeminy s nízkou plasticitou. [4] [9]

Aplikace směsných pojiv je také vhodná do nehomogenního podloží, kde se střídají různé druhy zemin. Pomocí kombinací různých pojiv dojde k sjednocení zeminy a vzniku spojitě struktury bez trhlin, pomalejšímu nárůstu pevnosti a k zvýšení odolnosti proti chemickým látkám a klimatickým vlivům. [4] [9]

Mezi neznámější směsná pojiva patří Dorosol C, Doroport TB nebo ViaCalco. [10]

4.4.5 ZEMINY UPRAVENÉ POPÍLKEM

Popely a popílky musí splňovat požadavky dané TP 93 a ČSN EN 14 227-4, popely také musí odpovídat vlastnostem uvedené v ČSN 72 2080 s ČSN P 72 2081-12. [4]

Popílek vzniká jako vedlejší produkt při spalování uhlí v tepelných elektrárnách. Stejně jako u strusky jsou i vlastnosti popílku závislé na kvalitě a složení původního materiálu. Každý popílek obsahuje oxid vápenatý, který je zodpovědný za pucolánovou reakci při styku se zeminou. Pokud popílek obsahuje méně oxidu potřebného k reakci, je vhodné ho doplnit cementem. [4] [9]

Popílky jsou rovněž využívány k zlepšení vlastností jemnozrnných zemin, kterým je potřeba zvýšit pevnost a únosnost (hodnotu CBR), zejména při budování vrstevnatých násypů. [4] [9]

4.5 VÁPENOCEMENTOVÉ SLOUPY

Princip této metody je velmi podobný, jako u zlepšování zemin hydraulickými pojivy, jen je pojivo aplikováno lokálně a do větší hloubky. Výsledný sloup má průměr přibližně 0,3 metrů a zasahuje do hloubky 5 až 6 metrů. Zeminu není nutné vytěžit,

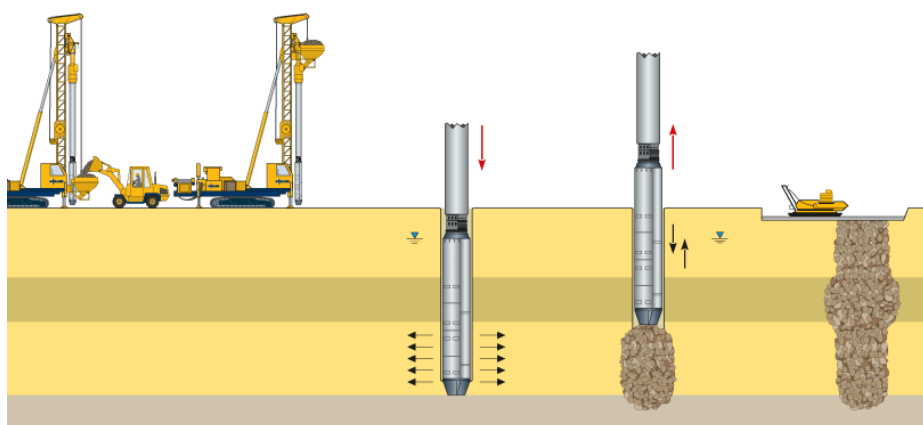
pouze se smíchá s práškovým, nebo tekutým pojivem in situ. Touto metodou lze snížit sedání zeminy a zvýšit únosnost a stabilitu svahů. [5]



Obrázek 12 - Vápenocementový sloup [5]

4.6 ŠTĚRKOVÉ PILÍŘE

Jsou velmi tvarově podobné vápenocementovým sloupům, jen s tím rozdílem, že je zemina lokálně vytěžena a zcela nahrazena štěrkem. Rozměry sloupu se obvykle pohybují v rozmezí 0,6 - 1,0 metru v průměru a zasahují do hloubky 8 - 12 metrů. Pokud jsou zhotoveny ze štěrku s úhlem vnitřního tření 37° - 41° zlepšují smykový odpor zeminy. [5]



Obrázek 13 - Postup výroby štěrkového pilíře [32]

4.7 ŠTĚRKOPÍSKOVÉ PILOTY

Stejný princip zlepšování jako v případě štěrkových sloupů, jen je využit jiný materiál - směs štěrku a písku. [5]

4.8 KOMPENZAČNÍ INJEKTÁŽ

Při budování silničních staveb se s touto metodou setkáme spíše při stavbě podzemních děl a při rekonstrukci objektů narušených nadměrným či nerovnoměrným sedáním. V zásadě je jedná o injektování speciální samotuhnoucí směsi do zeminy, ve které se díky tlaku vytvoří trhliny, které se ihned zaplní směsí. Výsledkem je zvětšování objemu zeminy a zdvihání nadloží. Metoda však vyžaduje pečlivý návrh a velmi dobrý monitoring kontrolním systémem. [5] [11]



Obrázek 14 - Kompenzační injektáž SOILFRAC [33]

4.9 PROINJEKTOVÁNÍ A PROMÍCHÁNÍ ZEMINY

Neboli soil-mixing spočívá ve zpevnění neúnosné zeminy pomocí zhutněných a stabilizovaných pilířů. Provádějí se speciální několikavřetenovou soupravou. [5]



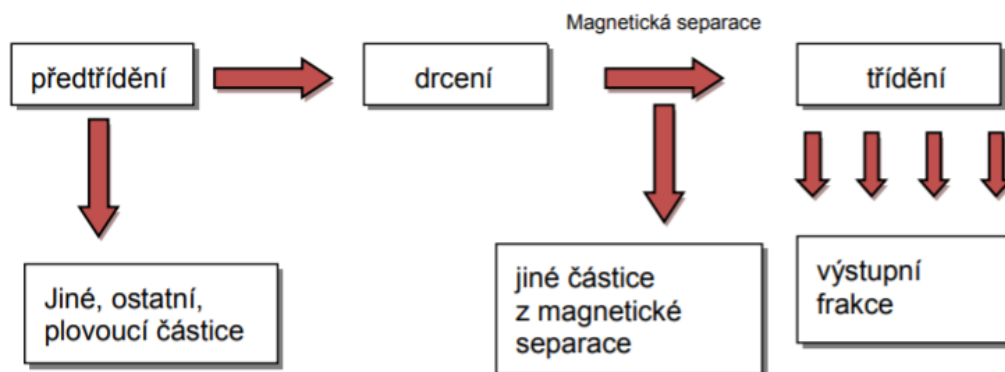
Obrázek 15 - Několika vřetenová souprava [34]

[12]

5 RECYKLOVANÝ STAVEBNÍ MATERIÁL - RECYKLÁT

Aktuálně probíraným světovým tématem je mimo jiné vznik a zpracování odpadů, které se týká i dopravních silničních staveb. Většina stavebního odpadu, který vznikne při demolici nebo jako odpad výroby, končí na skládce a nemá druhotné využití, ačkoli při správném zpracování a použití je stejně hodnotný jako přírodní materiál. Recyklát lze použít jak do konstrukčních vrstev vozovky, tak do zemního tělesa a do podloží pozemních komunikací. Hlavní předpokladem pro opětovné využití recyklátu, je odstranění všech nebezpečných složek, jako jsou například prvky z azbestu. Dále je nutné recyklát rozdrtit a roztřídit v závislosti na velikosti frakce. [13] [14]

Na kvalitu recyklátu má zásadní vliv použitá technologie zpracování, organizace práce a logistický systém chodu v recyklačním zařízení. Nesmíme zanedbat ani způsob skladování a způsob dopravy na stavenišť. Technické podmínky č.210 uvádějí, že pokud chceme získat kvalitní recyklát je vhodné při jeho zpracování postupovat takto:



Obrázek 16 - Postup zpracování recyklátu [13]

Z hlediska skladování je nutné recyklát skladovat odděleně podle druhu a kvality a je nutné zabránit znečištění. Pokud je recyklát pravidelně využíván pro stavbu pozemních komunikací, musí se důsledně sledovat jeho homogenita a stejnorodost, aby byla zachována jeho kvalita. [13]

Dle obsahu hlavního materiálu lze recyklát rozdělit na: [13]

- recyklát z betonu
- recyklát z vozovek
- recyklát ze zdiva

- recyklát směsný
- R - materiál
- recyklát asfaltový

Při klasifikaci je nutné přihlížet k obsahu speciálních částic (X, Y, FL), jejichž maximální procentuální hmotnostní zastoupení je u každého typu jasně stanoveno. U těchto částic je nutné sledovat jejich obsah ve směsi, protože mohou nepříznivě ovlivňovat vlastnosti recyklátu. [13]

- X = jiné částice
 přilnavé částice: jemnozrnné jílovité zeminy a nečistoty
 různorodé částice: kovy, neplovoucí dřevo, stavební plasty a pryž, sádrová omítka apod.
- Y = ostatní částice
 částice nestavebního charakteru: papír, polyetylenové obaly, textil apod.
 organické materiály: humus, rašelina apod.

Stanovují se při stejné zkoušce jako částice X

- FL = plovoucí částice
 plovoucí dřevo, polystyren apod.

V praktické části byl využit cementobetonový recyklát v laboratorních testech a částečně směsný recyklát v měření v terénu.

5.1 CEMENTOBETONOVÝ RECYKLÁT



Obrázek 17 - Příklad cementobetonového recyklátu frakce 32/63 [35]

Tento recyklát se získá drcením a tříděním betonu a betonových výrobků. Je vhodný k použití do konstrukčních vrstev vozovek i do pokladních vrstev. [13]

Obsahuje více jak 90 % hm. betonu, betonových výrobků, malty a betonových zdících prvků, méně jak 6 % hm. pálených zdících prvků, vápenopískových zdících prvků a neplovoucího porobetonu a maximálně 1 % hm. skla. Pokud se v odpadu nachází znehodnocující složky (částice X, Y, FL) může jich být maximálně 3 % hm. [13]

Recyklát použitý v praktické části této diplomové práce byl dodán firmou STAVITELSTVÍ – TRUNEC s.r.o. prostřednictvím autora práce.

5.2 SMĚSNÝ RECYKLÁT



Obrázek 18 - Příklad směsného recyklátu frakce 32/63 [35]

Směsný recyklát se stejně jako recyklát cementobetonový získává drcením a tříděním stavebního a demoličního odpadu, jen podíl hlavních složek není znám. Pokud chceme do stavby použít tento recyklát, musí být obsah jiných, ostatních a plovoucích částic (X, Y, FL) ≤ 10 % hm. [13]

Recyklát je určen především jako náhrada nevyhovujících zemin v násypech a v podloží PK. Také je ho možné využít k zásypu rýh, k terénním úpravám apod. [13]

Recyklát použitý v měření in – situ byl zprostředkován firmou STAVITELSTVÍ – TRUNEC s.r.o. v jehož areálu se měření uskutečnilo.

6 ROZPTÝLENÁ VÝZTUŽ

Metoda aplikace rozptýlené výztuže do zeminy vznikla z asociace zpevnování základové půdy pomocí kořenového systému jednotlivých rostlin. Díky tření a tahové pevnosti, zadržují kořeny jednotlivá zrna zeminy a tím zvyšují celkovou soudržnost svého okolí. Čím větší má rostlina kořenový systém, tím je zpevněný prostor zeminy větší. Výztuž je vhodné používat do písčitých a jemnozrnných zemin, neboť velikost zrn je přibližně stejná s průměrem vláken. Z tohoto důvodu nemá smysl používat vlákna do štěrkovitých zemin. [8] [9]

Pod pojmem rozptýlená výztuž si můžeme představit krátká vlákna (do 100 mm), která jsou buď uměle vyráběná, nebo přírodního původu. Mezi umělé výztuhy, patří vlákna ze skla, oceli a syntetiky, mezi rostlinné produkty vlákna z kokosových skořápek, bambusu, sisalu, konopí a juty. V současné době je jedním z velkých ekologických problémů produkce plastů, které se po svém využití dále nezpracují a většinou skončí na skládkách. Proto je nasnadě myšlenka, zda by se tyto plasty nedaly dále zpracovat např. do podoby vláken, kterými by pak bylo možné vyztužit nevhodné zeminy. Dalšími možnými materiály, které by bylo možné použít jako výztuž, jsou různé stavební a výrobní odpady, které rovněž končí na skládkách a dále se nezpracovávají. [8] [9]

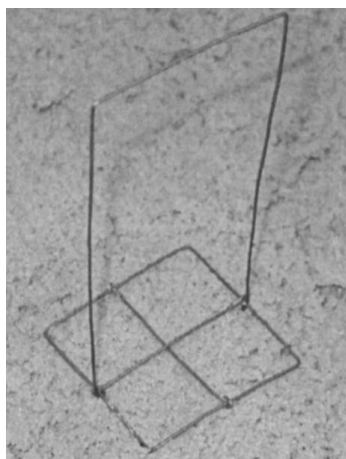
6.1 HISTORIE VYZTUŽOVÁNÍ

Bohužel je tato metoda stále ještě ve fázi výzkumu a použití při stavbě většího rozsahu zatím není znám, i když původ vyztužování vlákeny je znám už od starověku. Nejstarší stavbou, kde byla použita rozptýlená výztuž, a to ze slámy a rákosí, je zikkurat Agar-Qur u Bagdádu, postavený v roce 1440 př.n.l. Použity byly jílovité vyztužené cihly. Znamějšší stavbou postavenou s pomocí rozptýlené výztuže je Velká čínská zeď. Zde byla použita jílovitá zemina vyztužená tamaryškovými větvičkami. Co se týká Čech, můžeme si všimnout, že mnoho vesnických obydlí byla dříve stavěna z hliněných vyztužených cihel neboli vepřovic. Ty se vyztužovaly slámou, otrubami nebo i údajně prasečími štětinami či koňskou hřívou. [8] [9]



Obrázek 19 - Výroba vepřovic [36]

Existuje několik studií, které se problematikou zlepšování zemin pomocí rozptýlené výztuže zabývaly. Mezi nejznámější patří experiment z r. 2003 Michalowskiho a Čermáka, kteří se zabývali triaxiálními zkouškami na vzorcích z jemnozrnného a středně zrnitého písku vyztuženého třemi typy vláken - z polyamidu, galvanizované oceli a polypropylenu. Vlákna měla různou délku, a aby byla docílena jejich různorodá orientace, byla nejprve na dno formy umístěna speciální mřížka, která se po přidání zeminy a vláken ze směsi vytáhla. [8] [16]



Obrázek 20 - Mřížka pro zajištění různé orientace zrn [16]

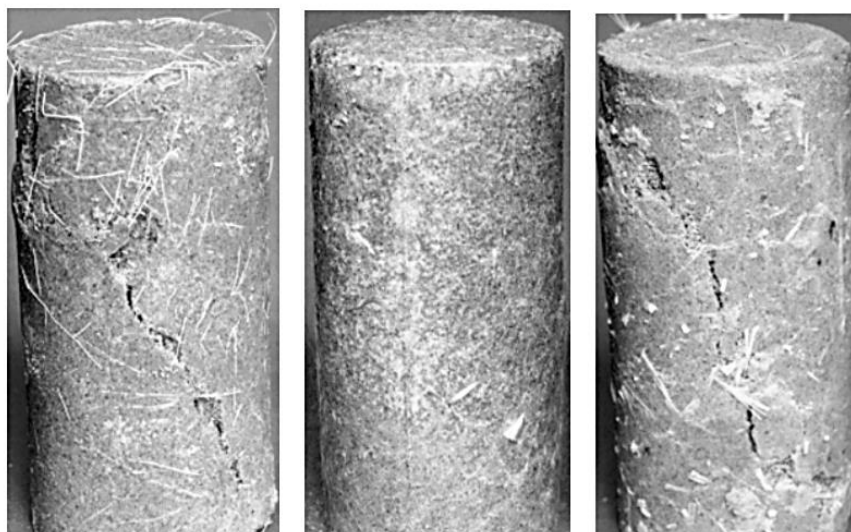
Následně se směs lehce zavibrovala a postup se zopakoval, dokud nebylo vytvořeno celkem 5 vrstev. Vzorek byl pak podroben triaxiální zkoušce. Z výsledků vyplynula hypotéza, že vlastnosti vyztužené směsi jsou závislé na délce vláken, i když se poměr stran a koncentrace vláken udržuje konstantní. Co se týká použitých materiálů, bylo zjištěno, že ocelová vlákna mají jen nepatrně větší vyztužující účinek než vlákna syntetická, neboť mají drsnější povrch. [8] [16]

Zřejmě nejvíce studií provedli Falorca a Pinto, kteří testovali chování hlavně jílovitých zemin vyztužených vlákny. Například ve studii z roku 2011, provedli sadu pokusů s jílovitou a písčitou zeminou vyztuženou krátkými různorodě orientovanými polypropylenovými vlákny. Zkoumán byl hlavně vliv textury, délky a objem vláken

na smykovou pevnost vyztužené zeminy. Zkoušky potvrdily, že vlákna zvyšují smykovou pevnost zeminy a zdatelně zlepšují chování zeminy při sesunutí. Čím je množství a délka vláken větší, tím je i smyková pevnost vyšší. Dále bylo prokázáno, že textura vláken (rovná/zvlněná) nemá zásadní vliv na výslednou smykovou pevnost. Z hlediska soudržnosti a úhlu vnitřního tření bylo zaznamenáno zlepšení oproti nevyztužené zemině, i navzdory tomu, že některá vlákna byla poškozená. [8] [17]

Pro stavbu silničních staveb je důležitým sledovaným parametrem míra zhutnění a únosnost (CBR, IBI) zeminy, proto je pro naše účely zřejmě nejhodnotnější studie Rubišarové a Kresty z roku 2008. Zkoušky byly provedeny na dvou typech zemin, do kterých byla přidána polypropylenová a polyesterová vlákna o délce 24 a 70 mm a v koncentracích 0,5 %, 1,0 % a 1,5 %hm. směsi. Ze zkoušek na zhutnitelnost a únosnost (Proctor Standard a CBR) vyplynulo, že jejich hodnota je závislá na koncentraci, délce i materiálu vláken, čímž byly potvrzeny závěry Michalowskiho a Čermáka. První testovanou směsí byl jemnozrný písek s polypropylenovými vlákny, druhou směsí byla sprašová hlína s polypropylenovými a polyesterovými vlákny. Ze získaných hodnot CBR vyplynulo, že lepšího uplatnění dosahují polyesterová vlákna. Zajímavého výsledku bylo dosaženo při zkoušce v prostém tlaku u vyztužené sprašové hlíny, neboť byla schopná odolávat většímu zatížení za cenu větší deformace. [8]

Jak je patrné ze zmíněných studií, nejpoužívanějším testovaným materiálem pro vyztužování zemin jsou syntetická vlákna, především z polypropylenu. V této práci byla použita skelná vlákna, neboť existuje jen velmi málo studií, které se touto problematikou zabývaly. Za zmínku stojí například studie, provedená Consolim,



Obrázek 21 - Testované vzorky: a) s polyesterovými vlákny; b) s polypropylenovými vlákny; c) se skelnými vlákny [18]

Mortardem, Donatem a Priettem v roce 2004, kde kromě polyesterových, polypropylenových vláken byla použita i skelná vlákna. Do jemnozrnného písku byla v různém poměru přidána vlákna, a pro zlepšení pevnosti ještě hydraulické pojivo (cement). Cílem studie bylo porovnání mechanických vlastností jednotlivých variant zlepšené zeminy a vyhodnocení vlivu obsahu, délky a koncentrace vláken a vliv cementu. [8] [18]

Výsledkem bylo, že po přidání polyesterových a skelných vláken do zeminy, došlo sice k mírnému snížení tuhosti směsi, ale zároveň došlo k zvýšení vnitřního úhlu tření, ať už byl ve směsi přidán cement, či nikoliv. Oproti směsi jen s cementovým pojivem, došlo při přidání vláken ke snížení soudržnosti, ale také k snížení křehnutí a zvýšení celkové poddajnosti směsi. [8] [18]

Pro účely této práce byla použita rozptýlená výztuž v podobě vláken ze sklovláknité perlinkové tkaniny.

6.2 TYPY VLÁKEN

Základním dělením vláken rozptýlené výztuže je dle původu na přírodní a umělá vlákna. Mezi zdroje přírodních vláken patří bambus, juta, len, kokos, palma, sisal, sláma a dokonce i cukrová třtina. Do umělých vláken řadíme polypropylen, polyester, polyetylen, polyvinyl alkohol, nylon, ocel a sklo. Hlavní výhodou přírodních vláken je jejich dostupnost, a to hlavně v rozvojových zemích, kde se tato vlákna používají nejvíce. Patří mezi obnovitelné zdroje a jejich použití nezatěžuje životní prostředí. Největší nevýhodou je jejich životnost a kvalita, která je závislá na kvalitě rostliny a na způsobu zpracování. Oproti tomu umělá vlákna vykazují konzistentní kvalitu, neboť je kontrolována jejich výroba. Aplikace do zeminy však představuje určité riziko, neboť jejich životnost je velmi dlouhá a v průběhu jejich rozkladu mohou více či méně zeminu kontaminovat. [8] [9]

6.2.1 BAMBUS

Bambusové vlákno je tvořeno hlavně celulózou, která mu zajišťuje vysokou pevnost. Vědci zjistili, že bambus obsahuje unikátní antibakterii, která ho chrání před škůdci a proto není nutné ho ošetřovat pesticidy. [9]



Obrázek 22 - Bambusová vlákna [37]

Samotná bambusová vlákna jsou sice pevná, ale také jsou málo elastická a mají malou nasákavost. Proto pro aplikaci do zeminy s cílem zlepšení jejich vlastností je vhodné přidat k vláknům hydraulické pojivo, např. cement. [9]

6.2.2 JUTA

Jutová vlákna se získávají ze stonku rostliny, který může dosahovat výšky až 2,5 m a mít průměr 2,5 cm. Hlavními producenty juty jsou země jižní a východní Asie, zejména Čína a Indie. Vlastnosti jutových vláken bezprostředně souvisí s druhem juty. [9]



Obrázek 23 - Jutová vlákna [38]

Až doposud byla juta využívána hlavně v podobě prodyšné textilie, která se do zemin vkládala jako geotextilie. V roce 2010 byla publikována studie, ve které byla pro vyztužení zeminy použita 5 – 20 mm dlouhá jutová vlákna, v hustotě od 0,2 do 1,0 % hm. Aby se předešlo napadení škůdci, byly vlákna obalena asfaltem. Při Proctorově zkoušce bylo zjištěno, že vlákna snižují maximální objemovou hmotnost a zvyšují optimální vlhkost zeminy pro zhutnění. Nejlepšího výsledku Kalifornského poměru únosnosti bylo dosaženo při použití 10 mm dlouhých vláken v koncentraci 0,8 % hm. Oproti nevyztužené zemině se hodnota CBR zvýšila 2,5x. [9]

6.2.3 LEN

Nespornou výhodou lnu je v jeho dostupnosti, neboť je ho možné pěstovat téměř kdekoli. Obdobně jako u bambusu, bylo zjištěno, že pokud k zemině vyztužené lněnými vlákny přidáme malé množství cementu, zlepší se celková tvárnost směsi. Lněná vlákna byla navíc obalena emailem pro docílení lepšího spojení se zrnky zeminy. [9]



Obrázek 24 - Lněná vlákna [39]

6.2.4 KOKOS

Kokosová vlákna se získávají ze slupek kokosových ořechů. Jsou tvořeny ligninem, celulórou, pektinem, taninem a dalšími voděrozpustnými látkami. Vysoký obsah ligninu zajišťuje vláknům dlouhou životnost (4 – 10 let) oproti ostatním přírodním vláknům. Životnost je také ovlivněna klimatickými podmínkami a typem zeminy, ve které je vlákno uloženo. [9]



Obrázek 25 - Kokosová vlákna [40]

Vlákna jsou obvykle 50 – 350 mm dlouhá a dokáží absorbovat 130 – 180 % vody, aniž by se zmenšila jejich tahová pevnost. Průměr vláken se pohybuje v rozmezí od 0,1 do 0,6 mm. Oproti syntetickým vláknům vykazují vyšší modul tuhosti ve

vyztužené zemině a také snižují tendence k bobtnání zeminy. S rostoucím zastoupením kokosových vláken v zemině se zvyšuje hodnota optimální vlhkosti zeminy a zároveň klesá maximální objemová hmotnost zeminy. Studií bylo potvrzeno, že k nejvyšší pevnosti v tlaku dojde, pokud se v zemině nachází 1 % hm. kokosových vláken. Po zvýšení koncentrace vláken se bohužel pevnost snižuje. [9]

6.2.5 PALMA

V zemích, kde se palmy vyskytují, jsou hojně používány, protože jsou snadno dostupné, jsou lehké, pevné v tahu, mají dlouhou životnost a jsou levné. Oproti tomu samotná vlákna získaná z rozkládající se palmy jsou křehká, mají malou pevnost v tahu a nízký modul pružnosti, ale naopak disponují vysokou nasákavostí. [9]



Obrázek 26 - Palmová vlákna [41]

V jedné studii byla palmová vlákna o stejné délce přidána do zeminy v objemu 1 % hm. směsi. Zemina pak byla testována na UCS¹, CBR a zhutnitelnost. Výsledky prokázaly, že oproti nevyztužené zemině dojde k zvýšení hodnot maximální a zbytkové síly a k snížení rozdílu mezi nimi. Tento jev byl zaznamenán u vláken s délkou od 20 do 40 mm. [9]

Jiná studie dokázala, že přidáním palmových vláken do zeminy se vytvoří kompaktní směs, které lépe odolává smykovému namáhání v důsledku zlepšení čísla soudržnosti a úhlu vnitřního tření. [9]

¹ Unconfined compression strength – neomezená pevnost v tlaku

6.2.6 SISAL

Sisal je tvořen ligno-celulózovými vlákny, která byla doposud využívána ve stavebním průmyslu k výrobě sádrových desek. Hlavními producenty sisalu jsou Brazílie, Indonésie a země východní Afriky. Vlákna se získávají z listů rostliny a jsou obvykle 50 – 250 mm dlouhá o průměru 0,06 – 0,4 mm. Jejich schopnost absorpce vody je přibližně 60 – 70 %. [9]

Testy prokázaly, že po přidání 4 % sisalu do zeminy, došlo k významnému zvýšení tvárnosti zeminy a k nepatrnému nárůstu pevnosti v tlaku. Dále bylo zjištěno, že pokud je do vyztužené zeminy přidáno asfaltové pojivo, nedojde ani tak k stmelení směsi, jako spíše k zvýšení živostnosti směsi. [9]



Obrázek 27 - Sisalová vlákna [42]

V dalším experimentu byla použita vlákna o délce 10, 15, 20 a 25 mm v objemu 0,25 %, 0,5 %, 0,75 % a 1,0 %, která byla přidána do lokální nevyhovující zeminy. Ukázalo se, že s rostoucím obsahem a délkou sisalových vláken se celková hustota směsi snižuje, avšak kritické napětí nelineárně stoupá s rostoucí délkou vláken až do 20mm, od větší délky vláken se naopak napětí snižuje. [9]

6.2.7 SLÁMA

Pod obecným pojmem sláma jsou myšlena usušená stébla ječmene, která byla jako výtěž používána již v starověkém Egyptě, nebo i v Číně a Japonsku. V současné době však neexistuje moc studií, která by se problematikou zlepšování zemin pomocí slámy zabývaly. [9]



Obrázek 28 - Slaměná vlákna [43]

Jedna studie dokazuje, že pokud se do zeminy přidá optimální objem stébel, dojde k snížení smršťování zeminy, nárůstu tlakového napětí, snížení kritického napětí a k zvýšení odolnosti proti plastickému porušení. Dále bylo prokázáno, že pokud je do směsi přidán cement, vznikne levný a odolný stavební materiál, který má dobré izolační vlastnosti. [9]

Kromě ječmene se také dají použít stébla pšenice. [9]

6.2.8 TŘTINA

Překvapivě i cukrová třtina může sloužit k zlepšování zemin. Třtiny patří do rodu trav a mohou dorůstat až do výšky 6 m a průměru až 6 cm. Vlákna vznikají jako odpadní produkt z cukrové třtiny, jejich použití je však omezené, neboť obsahují zbytkový cukr. Ten může způsobit zvýšení tvrdosti výsledné směsi. Bohužel potřebné studie chybí. [9]



Obrázek 29 - Vlákna z cukrové třtiny [44]

6.2.9 POLYPROPYLEN (PP)

Jak už bylo zmíněno dříve, vlákna z polypropylenu jsou nejvíce zastoupenými vlákny používané k zlepšování zemin. Je tomu tak proto, že zlepšují pevnost směsi, redukují smršťování a nepodléhají biologické ani chemické degradaci. [9]



Obrázek 30 - Polypropylenová vlákna [45]

V první zmíněné studii, byla vlákna přidána do jílu a bylo prokázáno, že vlákna snižují bobtnání, snižují objemové smršťování a zvyšují UCS zeminy. [9]

Jiná studie prokázala, že přidání PP vláken do písčité zeminy může zvýšit její únosnost a že tato metoda může být vhodná pro stavbu vozovek a jejich podloží. Konkrétně byla testována pouze 203 mm silná vrstva vyztužené zeminy, která bez problému odolávala zatížení armádní technikou. Avšak bylo nutné povrch vozovky pokrýt emulzí, protože docházelo k odlamování vláken ze zeminy. Při laboratorním testování bylo zaznamenáno, že při osovém namáhání má směs tendenci tvrdnout až o 20 % více, než nevyztužená zemina. Tato vlastnosti by mohla být využita například při stavbě mělkých základů nebo násypů, které jsou tvořeny jemnozrnnou zeminou.[9]

6.2.10 POLYESTER (PET)

Obdobně jako polypropylen je využíván i polyester. Proběhlo již mnoho testování různých zemin, vyztužených různě dlouhými vlákny. Za zmínku stojí zkouška vysoce stlačitelného jílu, do kterého byla přidána vlákna o objemu 0,5 %, 1,0 %, 1,5 % a 2,0 %. Vlákna byla rovná i zvlněná s délkou od 3 do 12 mm. Výsledkem bylo zjištění, že s rostoucí délkou a obsahem vláken v zemině se zlepšuje i měřená hodnota UCS. [9]



Obrázek 31 - Polyesterová vlákna [46]

Zajímavé bylo zjištění, že obecně syntetická vlákna je vhodné v zemině doplnit popílkem, nebo vápnem. [9]

6.2.11 POLYETYLEN (PE)

K méně používaným výztužím patří polyetylenová vlákna a pásy, avšak několik studií potvrdilo pozitivní dopad aplikace polyetylenu do zeminy. Bylo prokázáno, že malé množství PE vláken může zvýšit bod lomu zeminy. Další experiment dokázal, že hlavním ukazatelem funkčnosti vláken je v jejich tažnosti. V testu tedy nedošlo k nárůstu pevnosti v tlaku směsi, jak se předpokládalo, ale k nárůstu tažnosti v souvislosti s tahovou kapacitou vláken. [9]



Obrázek 32 – Polyetylenová vlnitá vlákna [47]

V jiném experimentu bylo dokázáno, že pokud se do písčité zeminy přidají HDPE pásy v objemu 4 % hm. s poměrem stran 3, zvýší se CBR 3x oproti hodnotě naměřené na nevyztužené zemině. [9]

6.2.12 POLYVINYL ALKOHOL (PVA)



Obrázek 33 - Polyvinyl alkoholová vlákna [48]

PVA vlákna byla až doposud využívána hlavně k vyztužování betonu, protože disponují chemickou odolností proti alkalickému prostředí a mají větší pevnost v tahu než PP vlákna. Další pozitivní vlastností polyvinyl alkoholu je odolnost proti smršťování způsobené teplem a dobrá přilnavost k cementovému pojivu. Právě díky těmto vlastnostem se jedná asi o nevhodnější materiál k vyztužování zemin. [9]

V citované studii, bylo použito 1 %hm. vláken a 4 %hm. cementu k vyztužení písčité zeminy. Výsledkem byl dvojnásobný nárůst UCS a osového napětí při maximální síle než u nevyztužené zeminy. [9]

6.2.13 NYLON

Zajímavého výsledku bylo docíleno s použitím nylonových a jutových vláken k vyztužení zeminy. Naměřená hodnota CBR se zvýšila o 50 % oproti hodnotě stanovené na nevyztužené zemině, ovšem stejné množství kokosových vláken přidaných do stejné zeminy, způsobila nárůst CBR o 96 %. Bylo vypočítáno, že pro zvýšení CBR je vhodné do zeminy přidat pouze 0,75 % hm. vláken, vyšší objem už na únosnost nemá vliv. [9]



Obrázek 34 - Nylonová vlákna [49]

Jiná studie využila pro vyztužení písčité hlíny nylonová vlákna ze starého koberce. Celkem byly přidány 3 % hm. vláken a při triaxiální zkoušce došlo k zvýšení tlakové síly o 204 %. Vzhledem k nízké pořizovací ceně, se vyztužování pomocí nylonových vláken jeví jako dobrá alternativa k ostatním syntetickým vláknům. [9]

6.2.14 OCEL

Podobně jako PVA vlákna, jsou i ocelová vlákna dosud hojně využívaná k vyztužování betonu. Použití vláken v zemině sice dodá zemině pevnost, avšak při nepříznivém počasí (mráz) dochází k rozměrovým změnám vláken, a to může negativně ovlivnit celkovou kompaktnost směsi. Proto jsou stále více upřednostňována polypropylenová vlákna před ocelovými. [9]



Obrázek 35 - Příklady ocelových vláken [50]

6.2.15 SKLO

Posledním používaným typem vláken jsou vlákna skelná. Za zmínku stojí studie, ve které byla v jednom vzorku použita PP vlákna a ve druhém skelná. U vzorku se skelnými vlákny došlo k vyššímu nárůstu hodnoty UCS než u druhého. V jiné studii se naopak došlo k obrácenému výsledku. [9]



Obrázek 36 - Skelná vlákna [51]

Další experiment prokázal, že po přidání 1 % skelných vláken do písku s cementem způsobí zvýšení 1,5 násobné zvýšení UCS v porovnání se zeminou bez vláken. [9]

V dnešní době se nejčastěji používají tzv. tekoucí skelná vlákna, která jsou vhodná pro zpevnování nesoudržných zemin. Při přidání 0,1 - 0,2 % hm. vláken do zeminy dojde k nárůstu soudržnosti na 100 – 300 kN.m⁻². Zajímavostí je, že vlákna v zemině působí stejně, jako kořenový systém rostliny. [9]

7 LABORATORNÍ MĚŘENÍ

V laboratorních podmínkách byly testovány tři typy materiálů, ze kterých byly vyrobeny směsi s různými koncentracemi a tvary vláken, příp. doplněné hydraulickým pojivem. Referenčními materiály byly cementobetonový recyklát, zemina 1 a zemina 2, které byly podrobeny zkouškám na stanovení zrnitosti a zhutnitelnosti, u zeminy 2 byly namísto zhutnitelnosti stanoveny konzistenční meze. Přidaná vlákna měla tvar volných vláken, nebo mříží. Všechna laboratorní měření se uskutečnila v Silniční laboratoři na Fakultě stavební ČVUT v Praze a byly provedeny autorem práce s odborným dohledem a pomocí vedoucího diplomové práce.

Cílem laboratorního měření bylo stanovit *Okamžitý index únosnosti* a *Kalifornský poměr únosnosti* na finálních směsích dle platných norem, protože se předpokládalo, že vlivem kombinace vláken a pojiva v referenčním materiálu, dojde k nárůstu únosnosti.

7.1 POPIS ZKOUŠEK

7.1.1 STANOVENÍ ZRNITOSTI CB RECYKLÁTU

Jelikož je CB recyklát klasifikovaný jako umělé kamenivo, pro stanovení zrnitosti CB recyklátu se postupovalo dle normy ČSN EN 933-1. Podstatou zkoušky je roztřídění a oddělení materiálu pomocí sady normovaných sít do několika zrnitostních podílů. Počet sít byl zvolen dle požadované přesnosti na 16 sít včetně dna. Za pomoci vibrací bylo kamenivo proséváno, následně byly zváženy celkové zbytky na jednotlivých sítích a stanoveny celkové propady vzhledem k počáteční hmotnosti směsi v procentech. Z celkových propadů byla vytvořena křivka zrnitosti. [19]

Před zahájením prosévací zkoušky je nutné směs vysušit v sušárně při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ do ustálení hmotnosti. Po vychladnutí je vzorek zvážen a zaznamenána jeho hmotnost. Pokud se součet zbytků na jednotlivých sítích bude od referenční hmotnosti lišit o více jak 1 %, je nutné zkoušku opakovat. [19]

7.1.2 STANOVENÍ ZRNITOSTI ZEMINY

Pro stanovení zrnitosti zeminy (1 a 2) se postupovalo dle normy ČSN EN ISO 17892-4. Postup zkoušky je popsán v kapitolách 3.1.1 a 3.2.1.

7.1.3 STANOVENÍ MEZE TEKUTOSTI A PLASTICITY ZEMINY

Protože směsi ze zeminy 2 obsahovaly značné množství cementového pojiva, byly u této zeminy určeny meze tekutosti a meze plasticity. Zkouška vycházela z normy ČSN EN ISO 17892-12.

Norma popisuje dvě metody jak definovat konzistenční meze – Cone test a Casagrandovu metodu. Meze pro zeminu 2 byly stanoveny pomocí Cone testu. [20]

7.1.4 PROCTOROVA ZKOUŠKA

Pro stanovení zhutnitelnosti referenčních vzorků a jednotlivých směsí se postupovalo dle normy ČSN EN 13286-2. Byly využity dvě metody – Proctor standard a Proctor modifikovaný s pěchem o hmotnosti 2,5 kg. V obou variantách se vrstva směsi umístila do moždíře a zhutnila se požadovaným počtem úderů Proctorova pěchu. Postup se opakoval, dokud nebyly zhutněny všechny vrstvy směsi. U CB recyklátu byla použita varianta Proctor modifikovaný a u obou zemin Proctor standard. [21]

7.1.4.1 Proctor standard

Zkouškou Proctor Standard byly naměřeny hodnoty míry zhutnění u všech variant zeminy 1 a zeminy 2. Pro zhutnění jednotlivých vrstev, které byly umístěny do moždíře B byl použit pěch A (2,5 kg). Pěch dopadal z výšky 305 mm na celkem tři vrstvy směsi. Každá vrstva byla zhutněna 56 údery pěchu. Přebytečná směs se odstranila a směs se zarovnal zároveň s okrajem moždíře. Celý prvek se zvažil (moždíř + směs) a vyjmul, aby mohl být uložen do kovové nádoby pro stanovení vlhkosti dle EN 1097-5. Pro stanovení maximální objemové hmotnosti při optimální vlhkosti se musí zkouška provést na min. 5 vzorcích. [21]

Z naměřených hodnot byla vypočítána objemová hmotnost (viz 7.3.1.2 a 7.3.2.2) a vlhkost. Odpovídající hodnoty se vynesly do grafu, a mezi jednotlivé body se proložila spojitá křivka, ze které se vyjádřila maxima. [21]

7.1.4.2 Proctor modifikovaný

Postup u této zkoušky je stejný jako v předchozí alternativě pouze s rozdílem, že směs byla hutněna pěstem B, který měl hmotnost 4,5 kg a dopadal z výšky 457 mm a celkem bylo hutněno 5 vrstev směsi. [21]

7.1.5 STANOVENÍ CBR A IBI

Stanovení hodnot Okamžitého indexu únosnosti (IBI) a Kalifornského poměru únosnosti (CBR) bylo provedeno na vzorcích z Proctorovy zkoušky. Princip spočívá v pronikání trnu standardního průřezu při dané rychlosti do zkušebního tělesa, které je uloženo ve formě. Výsledkem zkoušky je vztah mezi působící silou a penetrací. IBI a CBR jsou vyjádřeny jako procento standardní síly. Rozdíl mezi CBR a IBI je takový, že hodnota IBI je stanovena ihned po zhutnění tělesa, zatímco CBR je stanoveno, až po zrání tělesa. [22]

Penetrační trn má průměr $(50 \pm 0,5)$ mm, jeho spodní konec je z tvrzené oceli a musí být schopen vyvinout sílu min. 50 kN s rychlostí postupu $(1,27 \pm 0,20)$ mm.min⁻¹. Na každém penetračním přírůstku 0,5 mm se zaznamená působící zatížení až do celkové penetrace max. 10 mm. Výsledná hodnota CBR představuje procento referenčních sil 13,2kN a 20 kN na hodnotách penetrace 2,5 mm a 5,0 mm. [22]

Pokud je vzorek tvořen hydraulickým pojivem, musí být IBI stanoveno nejpozději do 90 min. od zamíchání směsi. [22]

Aby bylo možné testovaný materiál použít pro podloží, musí splňovat následující hodnoty CBR: [22]

Dle typu podloží:

PI	> 50 % CBR
PII	> 30 % CBR
PIII	> 15 % CBR

7.2 VSTUPNÍ MATERIÁLY

7.2.1 ROZPTÝLENÁ VÝZTUŽ

Jak už bylo uvedeno dříve, pro účely této diplomové práce se jako výztuž použil odpad z výroby sklovláknité perlinkové tkaniny (dále jen *perlinka*), vyráběná firmou Saint-Gobain Vertex s.r.o., která sídlí v Litomyšli. Výrobek nese označení R 117 A101 a je primárně využíván jako komponenta venkovních zateplovacích systémů. Perlinka se skládá ze skleněné příze, která je potažená speciálním syntetickým povlakem, aby se zvýšila odolnost proti působení alkalického prostředí lepidel, a tím i celková životnost. Standardní světlost ok je $4,0 \times 4,5$ mm a plošná hmotnost upravené tkaniny 145 g.m^{-2} . Výztuž se vyznačuje vysokou mechanickou pevností a vynikající rozměrovou stabilitou. Technický list je přiložen v příloze C. [22]

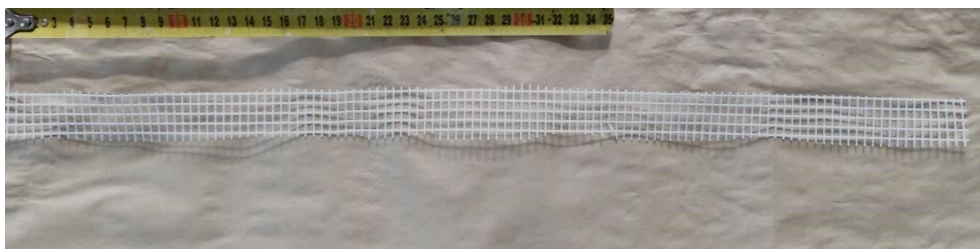
Perlinka byla přidána do zeminy a do CB recyklátu ve třech variantách:

- Volná vlákna



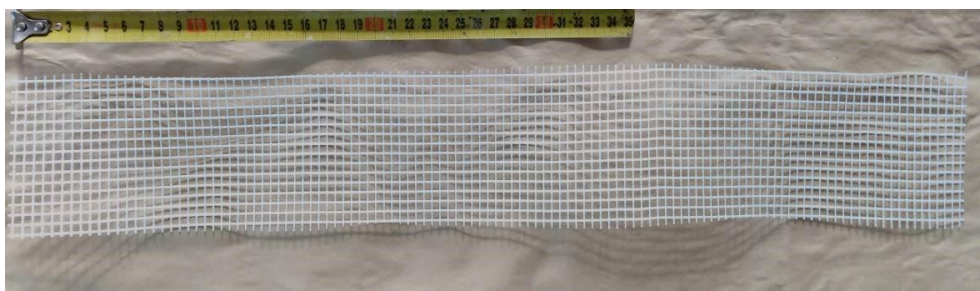
Obrázek 37 - Rozptýlená výztuž v podobě volných vláken

- Mříž o rozměrech 20mm × 550mm



Obrázek 38 - Rozptýlená výztuž v podobě mříže 20×550

- Mříž o rozměrech 90mm × 550mm



Obrázek 39 - Rozptýlená výztuž v podobě mříže 90×550

7.2.2 POJIVO - CEMENT

Pro zvýšení spojení jednotlivých výztuh se zrný posuzovaného materiálu, byl v několika variantách přidán cement, jakožto pojivo. Přidán byl jen v nepatrném množství 0,4 % hmotnosti směsi, proto nelze hovořit o stmelování směsi. Avšak při testování jedné ze zemin, bylo použito značné množství (2 % hm.) cementu 32,5 a zde už hovoříme o stmelování směsi (stabilizaci).

7.2.3 CB RECYKLÁT

V této diplomové práci byl použit recyklát od firmy Destro, která se zabývá recyklací stavebních materiálů a sídlí v Kladně. Jelikož byl recyklát použitý pro stavbu nestmelených vrstev, při jeho zpracování se postupovalo stejně jako při provádění nestmelených vrstev ze standardních materiálů (přírodního/umělého kameniva). Recyklát byl podroben laboratorním zkouškám na zrnitost, zhutnitelnost a únosnost. Samotný recyklát byl označen jako AREF a také byly vytvořeny varianty A1, A2 a A3, jejichž složení bylo následující:

- A1: recyklát, volná vlákna, mříž 20×550, voda
- A2: recyklát, volná vlákna, mříž 90×550, voda
- A3: recyklát, volná vlákna, mříž 20×550, mříž 90×550, cement, voda

OZNAČENÍ SMĚSI	AREF	A1	A2	A3
Složení směsi				
CB recyklát	100	100	100	100
Volná vlákna	-	0,5	0,5	0,5
Mříž 20 mm x 550 mm	-	0,1	-	0,1
Mříž 90 mm x 550 mm	-	-	0,1	0,1
Cement 32,5	-	-	-	0,4
Voda	11,6	11,6	11,6	11,6
Zkušební postup				
Zrnitost	x			
Proctorova zkouška	x			
Okamžitý index únosnosti	x	x	x	x
Kalifornský poměr únosnosti	x	x	x	x

Tabulka 2 - Složení a rozsah zkoušek směsí CB recyklátu

7.2.4 ZEMINA

Pro testování byly použity dvě zeminy. První byla označena jako Zemina 1 a druhá jako Zemina 2. Obě zeminy byly podrobeny laboratornímu stanovení zrnitosti, při kterém byly zeminy klasifikovány a vyhodnoceny z hlediska použitelnosti. Dále byla u Zeminy 1 stanovena zhutnitelnost Proctorovou zkouškou a u Zeminy 2 byly stanoveny konzistenční meze.

7.2.4.1 Zemina 1

Odběr zeminy proběhl ve Vysokém Mýtě a referenční vzorek zeminy byl označena jako BREF. Dále byly vytvořeny varianty B1, B2 a B3, na kterých byl laboratorně stanoven Okamžitý index únosnosti a Kalifornský poměr únosnosti. Složení jednotlivých variant bylo následující:

B1: zemina, volná vlákna, mříž 20×550, voda

B2: zemina, volná vlákna, mříž 90×550, voda

B3: zemina, volná vlákna, mříž 20×550, mříž 90×550, cement, voda

OZNAČENÍ SMĚSI	BREF	B1	B2	B3
Složení směsi				
Zemina	100	100	100	100
Volná vlákna	-	0,5	0,5	0,5
Mříž 20 mm x 550 mm	-	0,1	-	0,1
Mříž 90 mm x 550 mm	-	-	0,1	0,1
Cement 32,5	-	-	-	0,4
Voda	11,5	11,5	11,5	11,5
Zkušební postup				
Zrnitost	x			
Proctorova zkouška	x			
Okamžitý index únosnosti	x	x	x	x
Kalifornský poměr únosnosti	x	x	x	x

Tabulka 3 - Složení a rozsah zkoušek směsi zeminy 1

7.2.4.2 Zemina 2

Odběr Zeminy 2 proběh v Červeném Újezdě, kde rovněž proběhlo jedno z měření in situ. Referenční vzorek zeminy byl označen jako CREF a pro laboratorní měření byly vytvořeny varianty C1 a C2. Složení variant bylo následující:

C1: zemina, cement, voda

C2: zemina, volná vlákna, cement, voda

OZNAČENÍ SMĚSI	CREF	C1	C2
Složení směsi			
Zemina	100	100	100
Volná vlákna	-	-	0,5
Mříž 20 mm x 550 mm	-	-	-
Mříž 90 mm x 550 mm	-	-	-
Cement 32,5	-	2,0	2,0
Voda	12,7	12,7	6,8
Zkušební postup			
Zrnitost	x		
Konzistenční meze	x		
Okamžitý index únosnosti	x	x	x
Kalifornský poměr únosnosti	x	x	x

Tabulka 4 - Složení a rozsah zkoušek směsi zeminy 2

7.3 NAMĚŘENÉ HODNOTY

7.3.1 CB RECYKLÁT

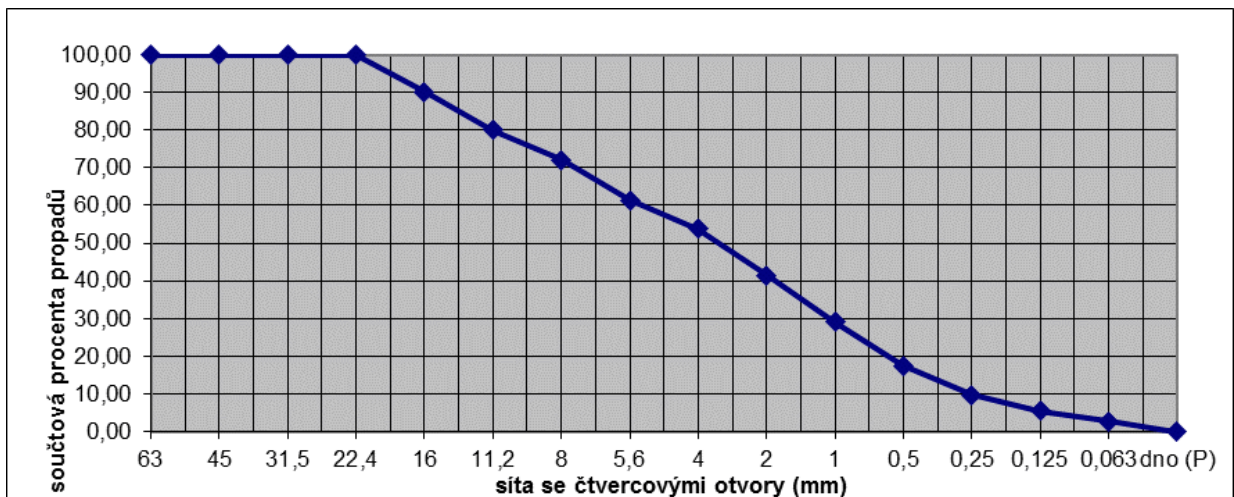
7.3.1.1 Stanovení zrnitosti

Granulometrické složení recyklátu bylo stanoveno podle normy ČSN EN 933-1 postupem proséváním za sucha na směsi recyklátu bez vláken.

Výsledek prosévací zkoušky:

ČÍSLO SÍTA i	VELIKOST OKA SÍTA	CELKOVÉ ZBYTKY Ri	CELKOVÉ ZBYTKY	CELKOVÉ PROPADY
-	mm	g	%	%
1	63	0,0	0,00	100,00
2	45	0,0	0,00	100,00
3	31,5	0,0	0,00	100,00
4	22,4	0,0	0,00	100,00
5	16	70,7	9,92	90,08
6	11,2	72,4	10,15	79,93
7	8	56,4	7,91	72,02
8	5,6	75,9	10,65	61,37
9	4	53,4	7,49	53,88
10	2	88,4	12,40	41,49
11	1	88,1	12,36	29,13
12	0,5	83,1	11,65	17,48
13	0,25	55,3	7,76	9,72
14	0,125	29,9	4,19	5,53
15	0,063	19,9	2,79	2,73
P	dno	19,3	2,71	0,00
Σ Ri [g]		693,5		
Σ (Ri + P) [g]		712,8		
Obsah jemných částic		19,5	-	2,73

Tabulka 5 – Zrnitost CB recyklátu



Obrázek 40 - Křivka zrnitosti CB recyklátu

Z výsledné čáry zrnitosti je patrné, že recyklát obsahuje 54 % drobných zrn, z toho 2,71 % jemných částic a 46 % hrubých zrn. Maximální velikost zrna ve směsi byla 22 mm.

7.3.1.2 Stanovení zhutnitelnosti

Zhutnitelnost byla provedena pomocí zkoušky Proctor modifikovaný dle ČSN EN 13286-2 opět na referenční vzorku, tedy bez vláken.

Použit byl moždíř typu B o hmotnosti 10 208,5 g, o rozměrech 120 mm na výšku a 150 mm v průměru. Celkový objem moždíře byl 2 120,57 cm³.

Směs byla hutněna celkem 5×56 údery pěchem typu B o hmotnosti 4 500 g, který na směs dopadal z výšky 457 mm.

Vlastnosti moždíře:

hmotnost:	$m_m = 10\,208,5\text{ g}$
výška:	120 mm
vnitřní průměr	150 mm
objem	$V_m = 2\,120,57\text{ cm}^3$

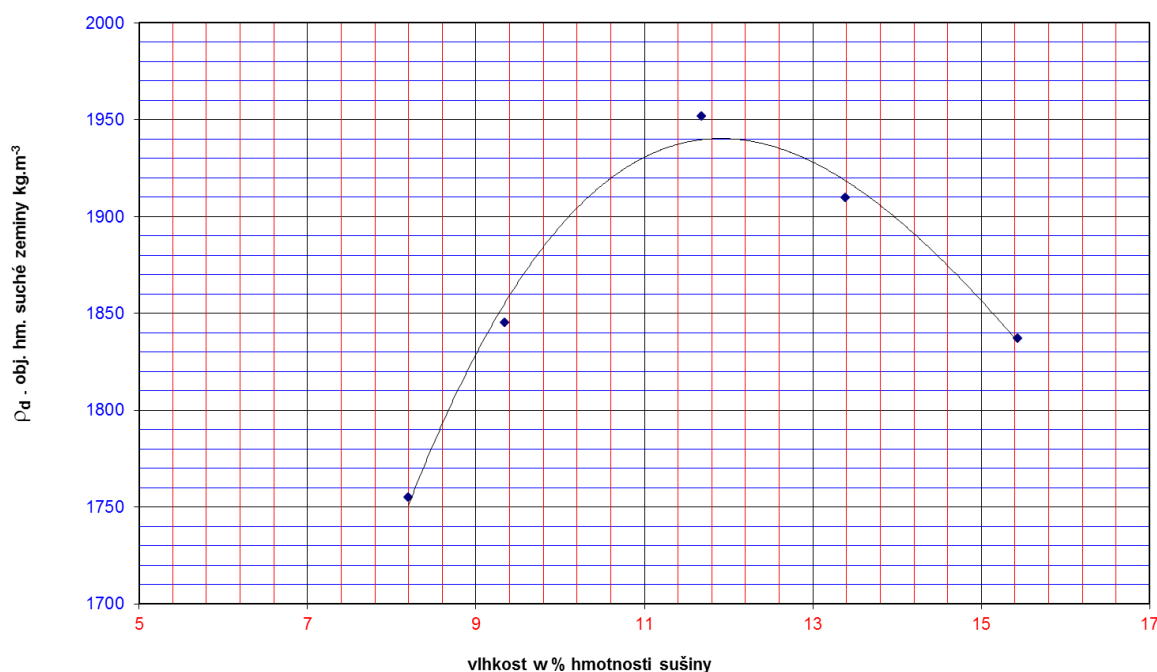
Vysvětlení použitých symbolů:

m_1	Hmotnost vlhké směsi po zhutnění včetně hmotnosti moždíře
w	Vlhkost směsi při hutnění
ρ	Objemová hmotnost vlhké směsi
	$\rho = (m_1 - m_m) \cdot 1000 / V_m \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
ρ_d	Objemová hmotnost suché směsi
	$\rho_d = \rho \cdot 100 / (w + 100) \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

m_1	HMOTNOST RECYKLÁTU S VODOU	HMOTNOST VYSUŠENÉHO VZORKU	w	ρ	ρ_d
g	g	g	%	kg.m ⁻³	kg*m ⁻³
14235,5	4027,0	3696,9	8,2	1899,0	1755,1
14487,9	4279,4	3879,6	9,3	2018,0	1845,6
14831,3	4622,8	4082,9	11,7	2180,0	1952,0
14800,7	4592,2	3977,5	13,4	2165,5	1909,9
14706,0	4497,5	3803,4	15,4	2120,9	1837,3

Tabulka 6 - Zhutnitelnost CB recyklátu

optimální vlhkost w_{opt} , ρ_{max}



Obrázek 41 - Graf zhutnitelnosti CB recyklátu

Z výsledného grafu znázorňující závislost objemové hmotnosti recyklátu na vlhkosti bylo stanoveno, že směs dosahuje maximální objemové hmotnosti 1 950 kg.m⁻³ při optimální vlhkosti 11,6 %.

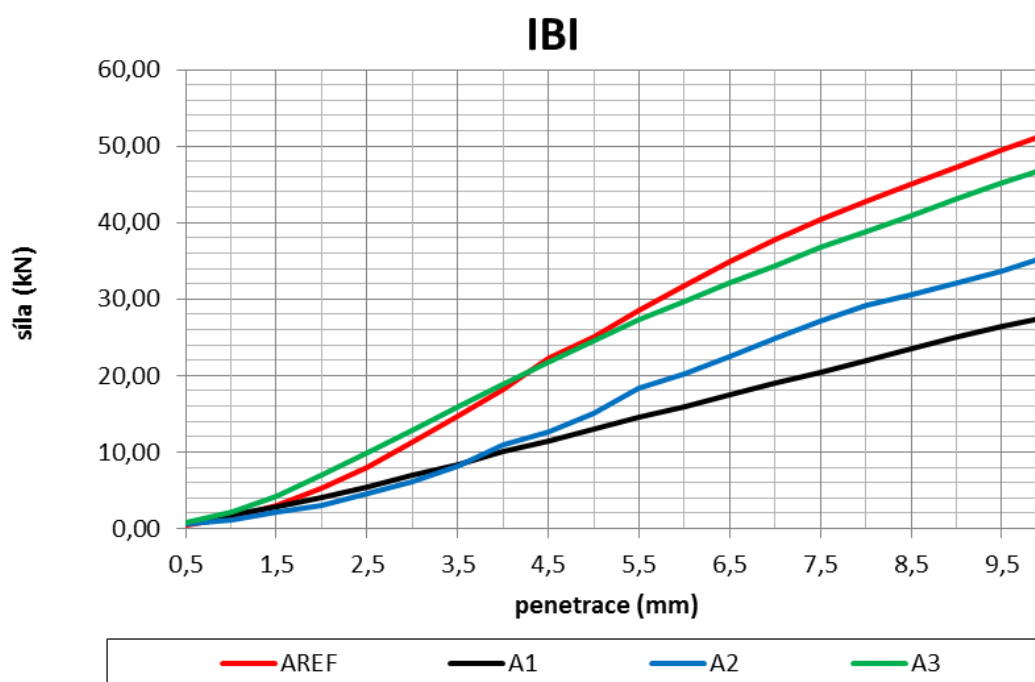
7.3.1.3 Stanovení Okamžitého indexu únosnosti IBI

IBI bylo stanoveno na referenčním vzorku AREF a na vyztužených směsích A1, A2 a A3. Tělesa byla připravena metodou Proctor modifikovaný.

Průběh měření referenčního vzorku je uveden v příloze A.

SMĚS	AREF	A1	A2	A3
Penetrace	2,5 mm			
Standardní síla v kN	13,2			
Síla v kN	8,08	5,40	4,61	9,84
IBI v %	61,2	40,9	34,9	74,5
Penetrace	5,0 mm			
Standardní síla v kN	20,0			
Síla v kN	25,13	12,96	15,14	24,53
IBI v %	125,7	64,8	75,7	122,7

Tabulka 7 - Okamžitý index únosnosti IBI směsí s CB recyklátem



Obrázek 42 - Průběh zkoušky IBI směsí s CB recyklátem

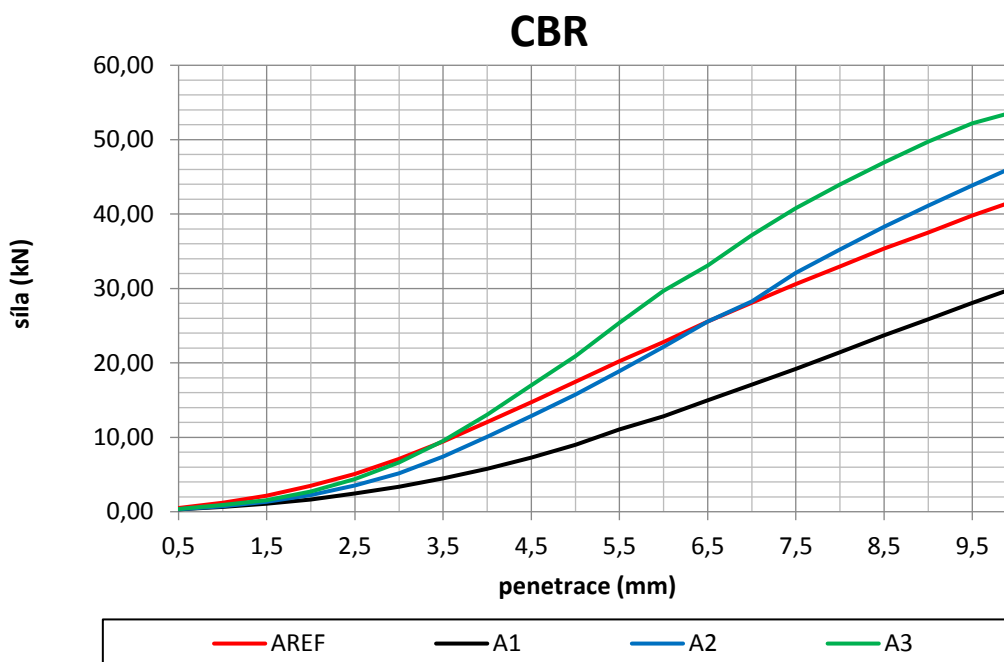
7.3.1.4 Stanovení Kalifornského poměru únosnosti CBR

CBR bylo stanoveno na referenčním vzorku a na vyztužených směsích po 96 h saturace vodou. Jako v předchozím bodě, byly zkušební tělesa připravena metodou Proctor modifikovaný.

Průběh měření referenčního vzorku je uveden v příloze A.

SMĚS	AREF	A1	A2	A3
Penetrace	2,5 mm			
Standardní síla v kN	13,2			
Síla v kN	5,1	2,45	3,54	4,39
CBR v %	38,6	18,6	26,8	33,3
Penetrace	5,0 mm			
Standardní síla v kN	20,0			
Síla v kN	17,49	8,98	15,77	20,92
CBR v %	87,45	44,9	78,85	104,6

Tabulka 8 - Kalifornský index únosnosti CBR směsí s CB recyklátem



Obrázek 43 - Průběh zkoušky CBR směsí s CB recyklátem

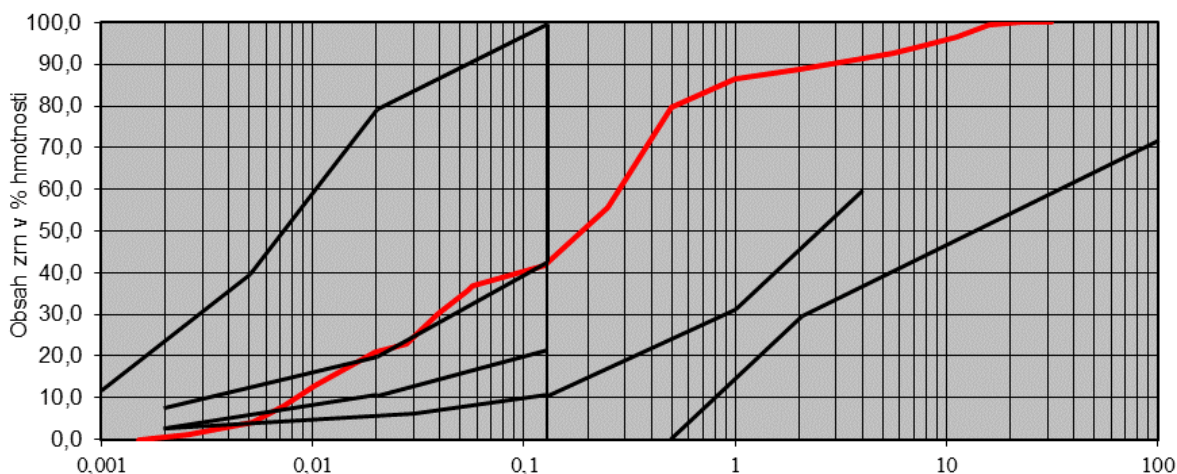
7.3.2 ZEMINA 1

7.3.2.1 Stanovení zrnitosti

Zrnitost byla stanovena dle normy ČSN EN ISO 17892-4. Vzhledem k velikosti zrn, bylo nutné provést jak prosévací, tak i sedimentační zkoušku. Dle výsledné čáry zrnitosti je patrné, že se jedná o písčitou hlínu (F3 MS), která je podmíněčně vhodná k použití do podloží vozovky a je nebezpečně namrzavá.

ČÍSLO SÍTA i	VELIKOST OKA SÍTA	CELKOVÉ ZBYTKY Ri	CELKOVÉ ZBYTKY	CELKOVÉ PROPADY
-	mm	g	%	%
1	63	0,0	0,0	100,0
2	45	0,0	0,0	100,0
3	31,5	0,0	0,0	100,0
4	22,4	0,0	0,0	100,0
5	16	4,5	0,5	99,5
6	11,2	25,2	2,9	96,5
7	8	16,9	2,0	94,6
8	5,6	17	2,0	92,6
9	4	11,9	1,4	91,2
10	2	21,6	2,5	88,7
11	1	19,2	2,2	86,5
12	0,5	57,1	6,6	79,8
13	0,25	207,8	24,2	55,7
14	0,125	120,8	14,1	41,6
15	0,063	35,2	4,1	37,5
P	dno	319,9	37,2	0,00
Σ Ri [g]		539,8		
Σ (Ri + P) [g]		859,7		
Obsah jemných částic		319,9	-	37,5
DOPLNĚNÍ Z HUSTOMĚRNÉ ZKOUŠKY				
	0,0574			37,0
	0,0548			36,0
	0,0390			30,0
	0,0277			23,0
	0,0197			21,0
	0,0102			13,0
	0,0073			8,0
	0,0052			4,0
	0,0026			1,0
	0,0015			0,0

Tabulka 9 – Zrnitost zeminy 1



Obrázek 44 - Křivka zrnitosti zeminy 1

7.3.2.2 Stanovení zhutnitelnosti

Zhutnitelnost byla stanovena na základě zkoušky Proctor standard dle ČSN EN 13286-2 pouze na referenční vzorku bez vláken.

Použit byl moždíř typu B o hmotnosti 6 272 g, o rozměrech 120 mm na výšku a 100 mm v průměru. Celkový objem moždíře byl 942,48 cm³.

Směs byla hutněna celkem 3×56 údery pěstem typu B o hmotnosti 2 500 g, který na směs dopadal z výšky 305 mm.

Vlastnosti moždíře:

hmotnost: $m_m = 6\,272,0\text{ g}$
výška: 120 mm
vnitřní průměr 100 mm
objem $V_m = 942,48\text{ cm}^3$

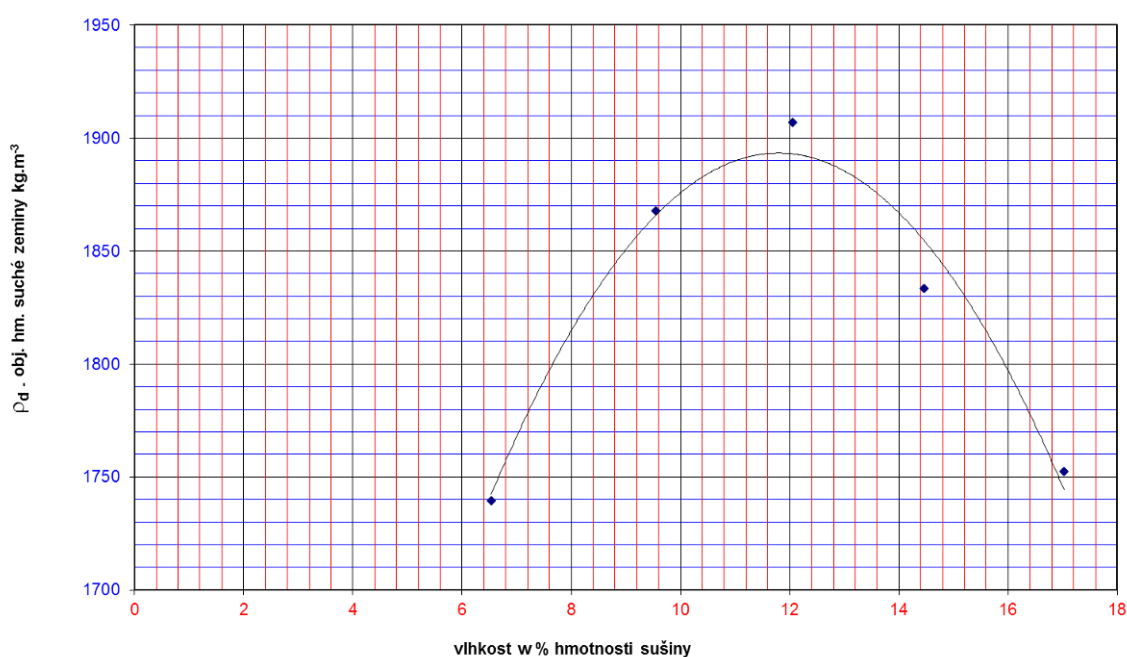
Vysvětlení použitých symbolů:

w Vlhkost směsi při hutnění
 ρ Objemová hmotnost vlhké směsi
 $\rho = (m_1 - m_m) \cdot 1000 / V_m \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
 ρ_d Objemová hmotnost suché směsi
 $\rho_d = \rho \cdot 100 / (w + 100) \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

m_1	HMOTNOST ZEMINY S VODOU	HMOTNOST VYSUŠENÉHO VZORKU	w	ρ	ρ_d
g	g	g	%	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
8018,5	1746,5	1632,4	6,5	1853,1	1739,5
8200,5	1928,5	1744,4	9,5	2046,2	1768,9
8285,9	2013,9	1771,2	12,1	2136,8	1907,0
8249,9	1977,9	1691,9	14,5	2098,6	1833,5
8204,8	1932,8	1603,7	17,0	2050,8	1752,4

Tabulka 10 - Zhutnitelnost zeminy 1

optimální vlhkost w_{opt} , ρ_{max}



Obrázek 45 - Graf zhutnitelnosti zeminy 1

Z výsledného grafu znázorňující závislost objemové hmotnosti recyklátu na vlhkosti bylo stanoveno, že směs dosahuje maximální objemové hmotnosti $1\,910\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ při optimální vlhkosti 11,5 %.

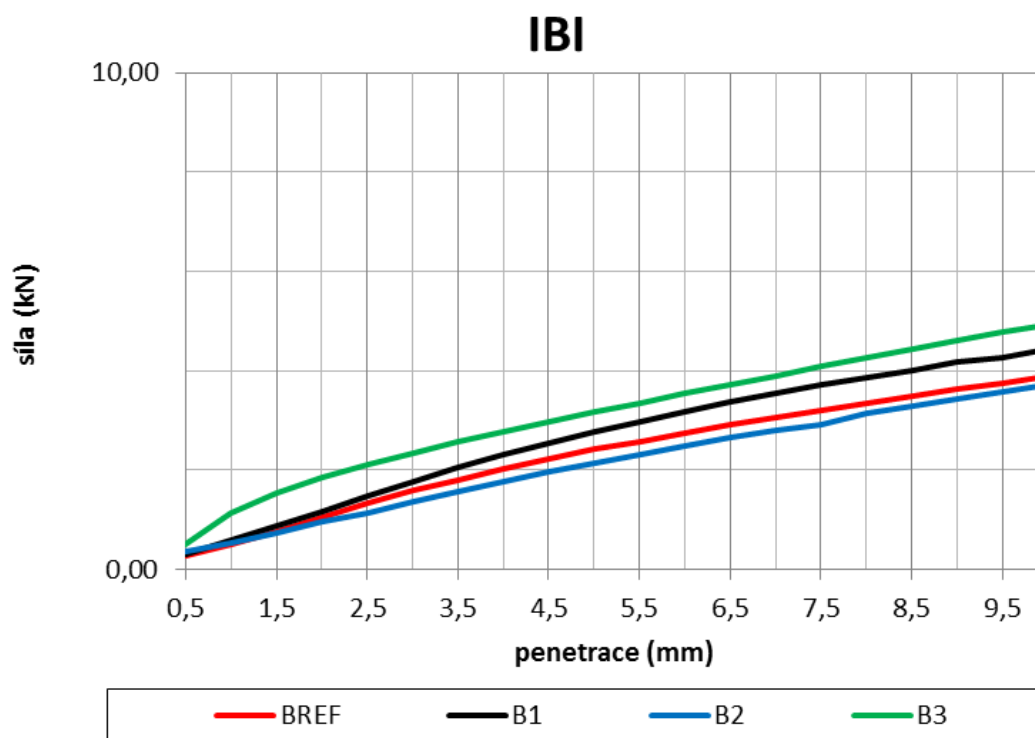
7.3.2.3 Stanovení Okamžitého indexu únosnosti IBI

IBI bylo stanoveno na referenčním vzorku BREF a na vyztužených směsích B1, B2 a B3. Tělesa byla připravena metodou Proctor standard.

Průběh měření referenčního vzorku je uveden v příloze A.

SMĚS	BREF	B1	B2	B3
Penetrace	2,5 mm			
Standardní síla v kN	13,2			
Síla v kN	1,32	1,47	1,14	2,12
IBI v %	10,0	11,1	8,6	16,1
Penetrace	5,0 mm			
Standardní síla v kN	20,0			
Síla v kN	2,41	2,76	2,14	3,16
IBI v %	12,1	13,8	10,7	15,8

Tabulka 11 - Okamžitý index únosnosti IBI směsí se zemínou 1



Obrázek 46 - Průběh zkoušky IBI směsí se zemínou 1

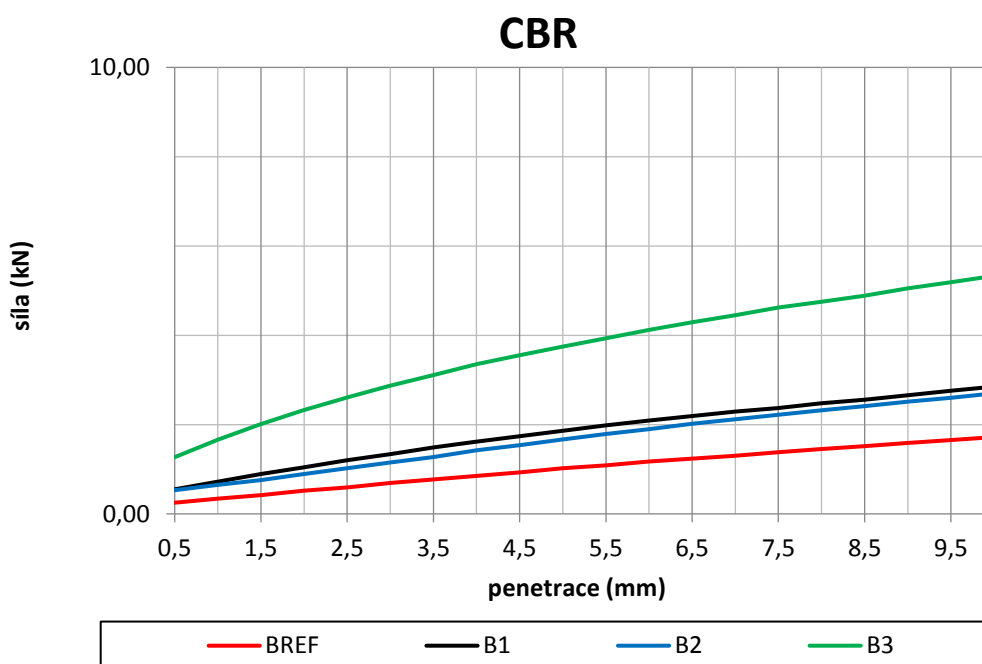
7.3.2.4 Stanovení Kalifornského poměru únosnosti CBR

CBR bylo stanoveno na referenčním vzorku a na vyztužených směsích po 96 h saturace vodou. Jako v předchozím bodě, byly zkušební tělesa připravena metodou Proctor standard.

Průběh měření referenčního vzorku je uveden v příloze A.

SMĚS	BREF	B1	B2	B3
Penetrace	2,5 mm			
Standardní síla v kN	13,2			
Síla v kN	0,59	1,20	1,02	2,61
CBR v %	4,5	9,1	7,7	19,8
Penetrace	5,0 mm			
Standardní síla v kN	20,0			
Síla v kN	1,02	1,86	1,67	3,75
CBR v %	5,1	9,3	8,35	18,75

Tabulka 12 - Kalifornský poměr únosnosti CBR směsí se zeminou 1



Obrázek 47 - Průběh zkoušek CBR směsí se zeminou 1

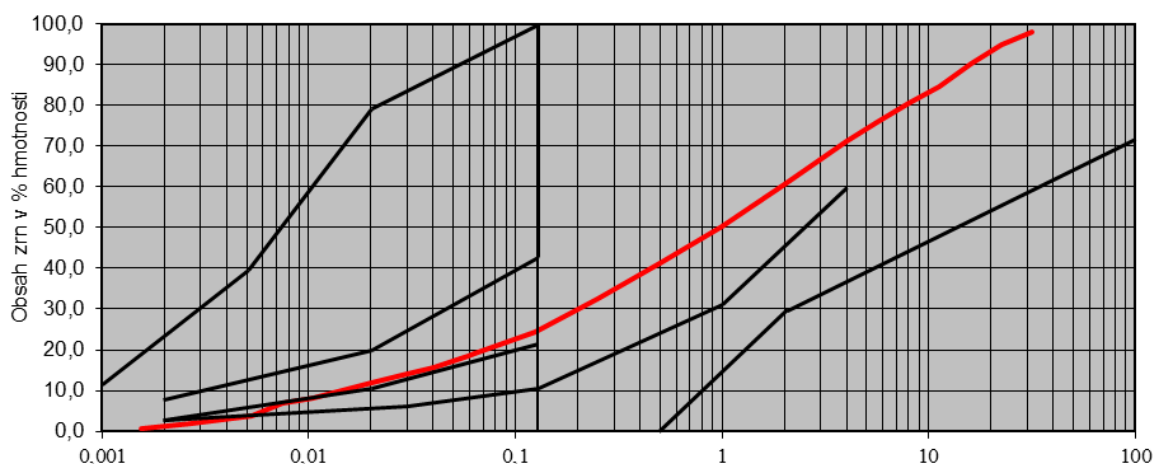
7.3.3 ZEMINA 2

7.3.3.1 Stanovení zrnitosti

Zrnitost byla stanovena dle normy ČSN EN ISO 17892-4. Vzhledem k velikosti zrn, bylo nutné provést jak prosévací, tak sedimentační zkoušku.

ČÍSLO SÍTA i	VELIKOST OKA SÍTA	CELKOVÉ ZBYTKY Ri	CELKOVÉ ZBYTKY	CELKOVÉ PROPADY
-	mm	g	%	%
1	63	0,0	0,0	100,0
2	45	0,0	0,0	100,0
3	31,5	29,2	2,0	98,0
4	22,4	47,5	3,2	94,8
5	16	67,1	4,6	90,2
6	11,2	84,6	5,8	84,5
7	8	56,2	3,8	80,7
8	5,6	69,6	4,7	75,9
9	4	69,9	4,8	71,2
10	2	155,1	10,5	60,6
11	1	152,4	10,4	50,3
12	0,5	135,2	9,2	41,1
13	0,25	125,9	8,6	32,5
14	0,125	121,3	8,2	24,3
15	0,063	77,1	5,2	19,0
P	dno	280,5	19,1	0,00
Σ Ri [g]		1190,8		
Σ (Ri + P) [g]		1471,3		
Obsah jemných částic			-	
DOPLNĚNÍ Z HUSTOMĚRNÉ ZKOUŠKY				
	0,0591			18,5
	0,0560			18,1
	0,0398			15,8
	0,0283			13,9
	0,0201			11,9
	0,0105			8,1
	0,0074			6,9
	0,0053			3,8
	0,0027			1,9
	0,0015			0,0

Tabulka 13 - Zrnitost zeminy 2



Obrázek 48 - Křivka zrnitosti zeminy 2

Dle výsledné čáry zrnitosti je patrné, že se jedná o písek hlinitý (S4 SM), který je podmíněčně vhodný k použití do podloží vozovky a je mírně namrzavý.

7.3.3.2 Stanovení konzistenčních mezí a indexu plasticity

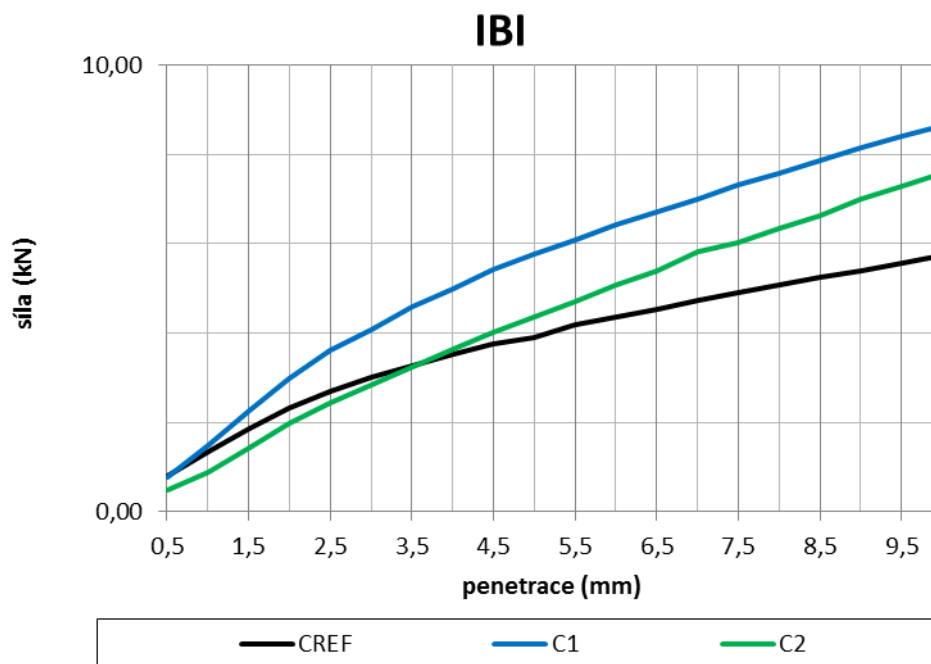
Pro zjištění konzistenčních mezí a indexu plasticity se postupovalo dle ČSN EN ISO 17892-12. Výsledná vlhkost na mezi plasticity je rovna 30,4 % a vlhkost na mezi tekutosti 40,7 %. Číslo plasticity je rovno 10,3 %, tudíž se jedná o zeminu se střední plasticitou

7.3.3.3 Stanovení Okamžitého indexu únosnosti IBI

IBI bylo stanoveno na referenčním vzorku CREF a na vyztužených směsích C1 a C2. Tělesa byla připravena metodou Proctor standard.

SMĚS	CREF	C1	C2
Penetrace	2,5 mm		
Standardní síla v kN	13,2		
Síla v kN	2,68	3,61	2,43
IBI v %	20,3	27,3	18,4
Penetrace	5,0 mm		
Standardní síla v kN	20,0		
Síla v kN	3,91	5,75	4,36
IBI v %	19,6	28,8	21,8

Tabulka 14 - Okamžitý index únosnosti IBI směsí se zeminou 2

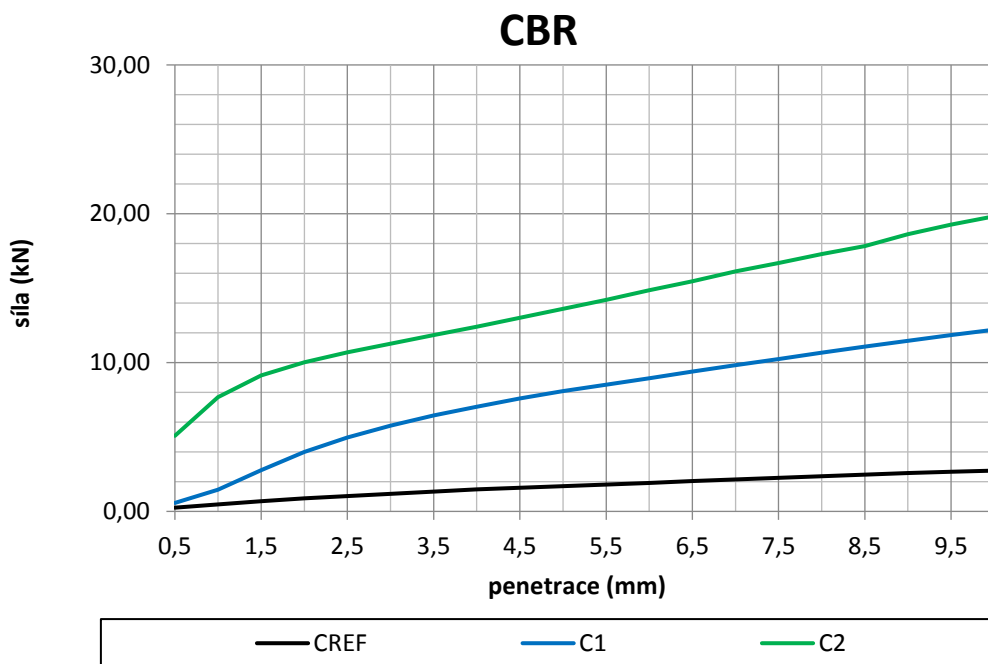


7.3.3.4 Stanovení Kalifornského poměru únosnosti CBR

CBR bylo stanoveno na referenčním vzorku a na vyztužených směsích. Jako v předchozím bodě, byly zkušební tělesa připravena metodou Proctor standard.

SMĚS	CREF	C1	C2
Penetrace	2,5 mm		
Standardní síla v kN	13,2		
Síla v kN	1,03	4,97	10,68
CBR v %	7,8	37,7	80,9
Penetrace	5,0 mm		
Standardní síla v kN	20,0		
Síla v kN	1,7	8,09	13,61
CBR v %	8,5	40,45	68,05

Tabulka 15 - Kalifornský poměr únosnosti CBR směsí se zeminou 2

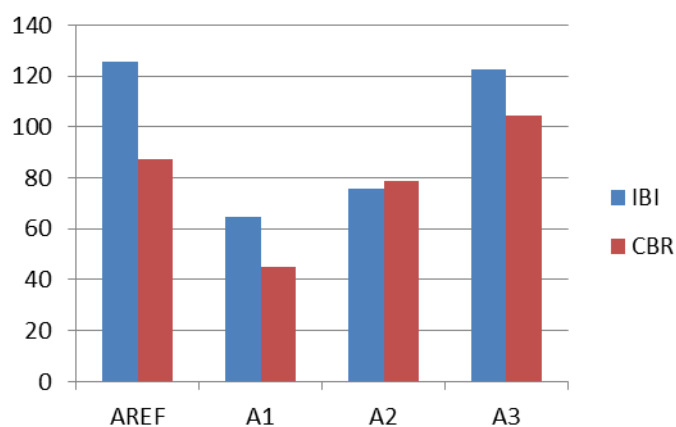


Obrázek 50 - Průběh zkoušek CBR smění se zemínou 2

7.4 ZHODNOCENÍ

U všech testovaných materiálů, byla zvolena hodnota Kalifornského poměru únosnosti (CBR) hlavní charakteristikou, která hodnotí přínos vláken. Pro srovnání je uvedena i naměřená hodnota Okamžitého indexu únosnosti (IBI).

7.4.1 CB RECYKLÁT



Obrázek 51 - Srovnání IBI a CBR smění s CB recyklátem

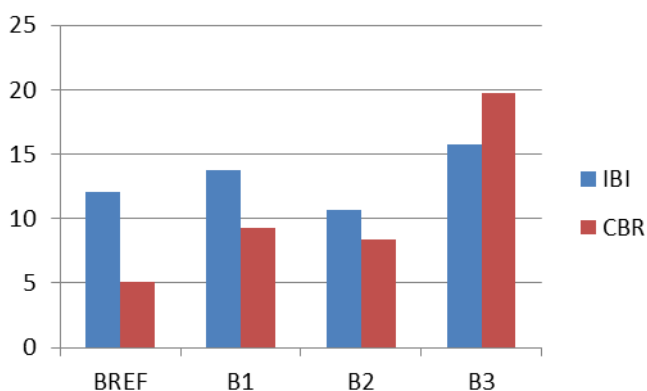
Z naměřených hodnot CBR je patrné, že referenční vzorek AREF dosáhl 87,5 % CBR. Bohužel varianty A1 a A2 tuto hodnotu nepřekonalý a lze proto předpokládat,

že obsažené mříže (varianta 2 a 3) nepůsobí ve směsi příznivě. Rovněž to mohlo být způsobeno malým množstvím přidávaných mříží.

Naopak u varianty A3 došlo k nárůstu hodnoty CBR o 17 % oproti referenčnímu vzorku. Malé množství cementu pravděpodobně způsobilo, že cementem obalená vlákna se stala lepivějšími a lépe se spojila se zrny CB recyklátu.

Z hlediska srovnání hodnot IBI je patrné, že nejvyšší hodnota byla naměřena u referenčního vzorku AREF, a to 125,7 %, ke které se přiblížila pouze hodnota naměřená na vzorku A3 (122,7 %). Ostatní varianty dosáhly hodnot IBI přibližně o polovinu nižších, než hodnoty stanovené na vzorcích AREF a A3.

7.4.2 ZEMINA



Obrázek 52 - Srovnání IBI a CBR směsí se zemínou 1

Referenční varianta zeminy BREF splnila předpoklad uvedený v TP 170, který říká, že pro podloží typu PIII musí hodnota CBR dosahovat min. 15 %. Konkrétně dosáhla hodnoty pouze 5,1 %, proto bylo nutné ji upravit. Po přidání vláken došlo k nárůstu hodnoty CBR, ale pouze varianta B3 překonala požadovanou hranici použitelnosti. Varianta B3 tedy splňuje požadavky na podloží PIII.

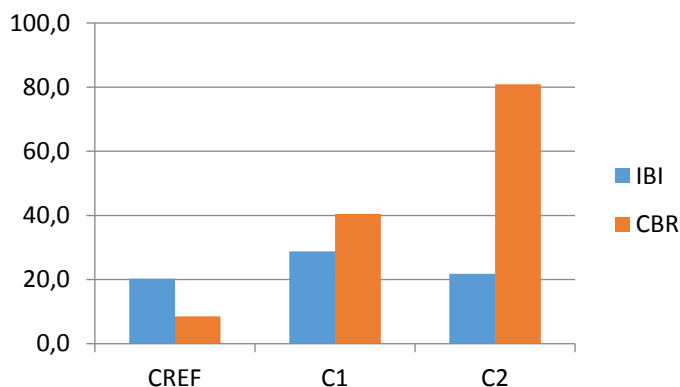
U ostatních variant (B1 a B2) se hodnota zvýšila pouze o přibližně 4 %.

Co se týká měření IBI, všechny varianty dosáhly podobných výsledků, avšak hodnotu u referenčního vzorku překonaly pouze hodnoty u variant B1 a B3.

Jak je patrné ze srovnání sloupcových grafů, obou nejnižších hodnot CBR i IBI dosáhla varianta B2, ve které byly obsažena volná vlákna a mříže 90 × 550. Je

možné se domnívat, že efekt větších mříží je spíše negativní, a je proto vhodnější pro vyztužení zeminy použít kratší vlákna a mříže o menších rozměrech, popř. větší mříže doplnit vhodným pojivem.

7.4.3 ZEMINA 2



Obrázek 53 - Srovnání IBI a CBR směsí se zeminou 2

Referenční vzorek CREF, stejně jako vzorek BREF nedosáhl požadavků na únosnost dle TP 170 pro podloží typu PIII. Hodnota CBR dosáhla hodnoty 8,5 %, proto bylo nutné zeminu upravit. Do směsi C1 byla přidána 2 % cementu a do varianty C2 byla přidána volná vlákna a 2 % cementu. Z naměřených hodnot CBR je patrné, že pouze přidáním cementu došlo k nárůstu hodnoty CBR na 40,5 % (směs C1) a přidáním cementu a vláken dokonce na hodnotu 68,1 % (směs C2). Varianta C2 tedy splňuje požadavky na použití do zemního tělesa i do konstrukčních vrstev vozovky.

Z hlediska hodnoty IBI byla u referenční směsi naměřena hodnota 19,6 % a obě zlepšené varianty tuto hodnotu překonaly. Varianta C1 dosáhla IBI 28,8 % a C2 21,8 %.

8 MĚŘENÍ IN-SITU

Pro praktické ověření naměřených laboratorních hodnot, bylo provedeno měření na třech pokusných úsecích. Dva úseky se nacházely ve Vysokém Mýtě, v areálu firmy STAVITELSTVÍ – TRUNEC s.r.o. a jeden úsek byl realizován v rámci stavby koridoru Červený Újezd u Tábora. Veškerá měření, včetně návrhu složení jednotlivých směsí, byla provedena autorem práce. Získané hodnoty statických modulů deformace byly získány lehkou rázovou dynamickou zkouškou pomocí zatěžovací desky.

8.1 POKUSNÝ ÚSEK VYSOKÉ MÝTO 1

Ve dnech 25. 6. 2018 a 26. 6. 2018 proběhlo měření na prvním pokusném úseku, který se nacházel v areálu firmy STAVITELSTVÍ – TRUNEC s.r.o. ve Vysokém Mýtě.

Před pokládkou připravených směsí byl terén urovnán, aby mohl sloužit jako zemní pláň a v konkrétních bodech byla naměřena její únosnost. Měření únosnosti zemní pláně bylo realizováno pomocí dynamické zatěžovací desky. Únosnost se pohybovala mezi 43,5 MPa a 60,5 MPa, tudíž bylo možné konstatovat, že je únosnost konzistentní a je možné pokračovat v pokládce podkladní vrstvy.

Podkladní vrstva byla rozdělena do 5 úseků a v každém úseku se nacházela jiná směs. Základ směsi byl tvořen směsným recyklátem, ke kterému byla přidána vlákna. Složení směsí v úsecích je uvedeno v následující tabulce:

ÚSEK	1/1	1/3	1/4	1/5	1/10
Směsný recyklát	100	100	100	100	100
Volná vlákna	0,5	-	0,5	0,5	0,5
Mříž 20 mm x 550 mm	0,1	-	-	0,1	0,1
Mříž 90 mm x 550 mm	-	-	0,1	0,1	0,1
Cement 32,5	-	-	-	-	0,4

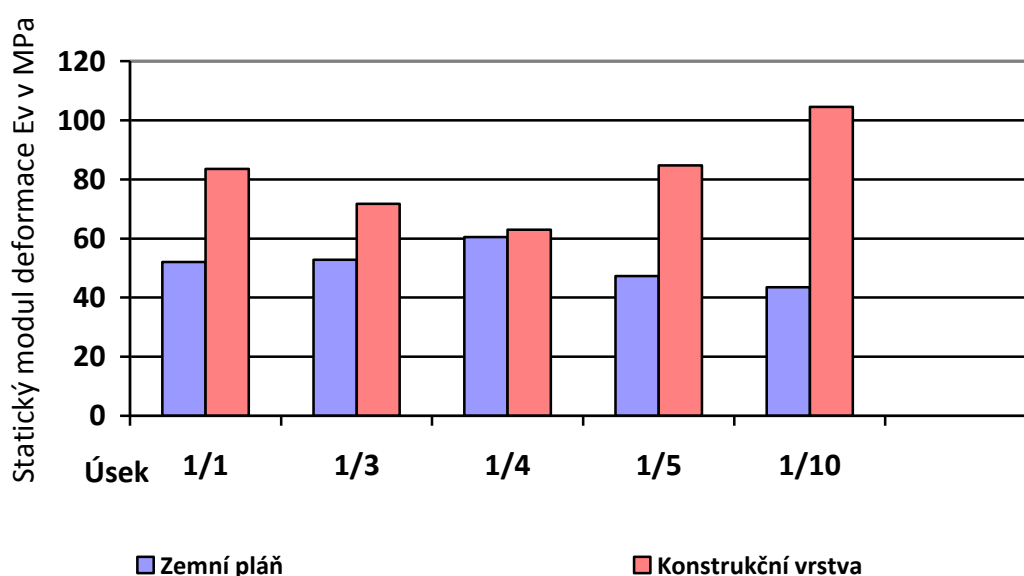
Tabulka 16 - Složení směsí na jednotlivých úsecích pokusného úseku Vysoké Mýto 1

Referenční vzorek složený pouze ze směsného recyklátu se nacházel v úseku 1/3 a do směsi nacházející se v úseku 1/10 bylo přidáno i malé množství (0,4 %) cementu. Na ostatních úsecích se nacházel pouze recyklát s vlákny.

Výsledky naměřených hodnot:

ÚSEK	1/1	1/3	1/4	1/5	1/10
Statický modul deformace E_{v2} zemní pláň v MPa	52,0	52,8	60,5	47,3	43,5
Statický modul deformace E_{v2} konstrukční vrstvy v MPa	83,5	71,7	63,0	84,7	104,5
Nárůst statického modulu deformace E_{v2} konstrukční vrstvy oproti zemní pláni v MPa	31,5	18,9	2,5	37,1	61,0

Tabulka 17 - Výsledky dynamické zatěžovací zkoušky pokusného úseku Vysoké Mýto 1



Obrázek 54 - Porovnání únosností na pokusném úseku Vysoké Mýto 1

Nárůst únosnosti byla vyjádřena statickým modelem deformace v jednotkách MPa. Ze srovnání naměřených hodnot konstrukční vrstvy vyplynulo, že referenční vzorek samotného směsného recyklátu dosáhl hodnoty 71,7 MPa, kterou překonaly všechny směsi, kromě směsi na úseku 1/4. Srovnatelné únosnosti dosáhly směsi na úseku 1/1 a 1/5, kde byly naměřeny hodnoty 83,5 MPa a 84,7 MPa. Nejlepší únosnost vykazovala směs na úseku 1/10, ve které bylo obsaženo i malé množství cementu, a to konkrétně hodnoty 104,5 MPa, což je cca 3x větší únosnost než u referenčního vzorku.

Fotodokumentace z měření je uvedena v příloze B.

8.2 POKUSNÝ ÚSEK VYSOKÉ MÝTO 2

Druhé měření, které proběhlo taktéž v areálu firmy STAVITELSTVÍ – TRUNEC s.r.o. se uskutečnilo ve dnech 26. 9. 2018 a 4. 10.2018.

Stejně jako v předchozím měření, byla nejprve srovnána zemní pláň a v konkrétních bodech byly naměřeny hodnoty únosnosti, které se pohybovaly v rozpětí od 24,0 MPa do 37,0 MPa. Únosnost byla rovněž vyhodnocena jako konzistentní a mohla být realizována podkladní vrstva.

Na tomto úseku byl použit CB a směsný recyklát, ze kterých bylo vyrobeno celkem 6 směrů s různým obsahem vláken. Složení směsí je uvedeno v následující tabulce:

ÚSEK	2/1	2/2	2/3	2/4	2/5	2/6
CB recyklát	100	100	100	-	-	-
Směsný recyklát	-	-	-	100	100	100
Vlákna	0,5	0,5	-	0,5	0,5	-
Cement 32,5	2,0	-	-	2,0	-	-

Tabulka 18 - Složení směsí na jednotlivých úsecích pokusného úseku Vysoké Mýto 2

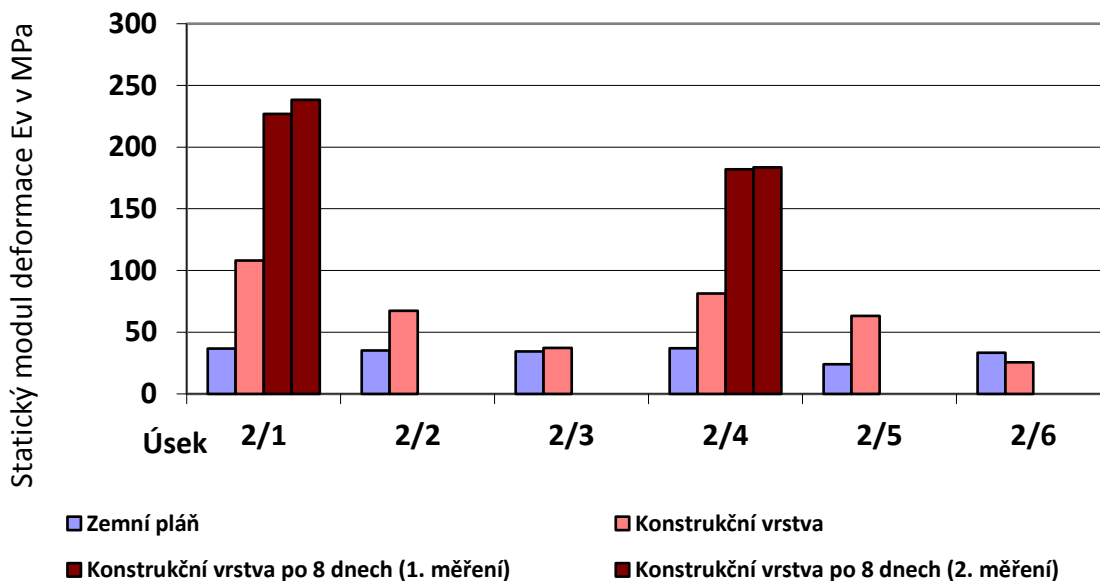
Úseky 2/3 a 2/6 reprezentovaly referenční vzorky recyklátů bez vláken, úseky 2/2 a 2/5 byly tvořeny recyklátem s vlákny a na úsecích 2/1 a 2/4 byla vlákna doplněna 2 % cementu. Vlákna byla vždy přidána v množství 0,5 % hm. směsi.

Byly naměřeny následující únosnosti:

ÚSEK	2/1	2/2	2/3	2/4	2/5	2/6
Statický modul deformace E_{v2} zemní pláně v MPa	36,8	35,3	34,5	37,0	24,0	33,3
Statický modul deformace E_{v2} konstrukční vrstvy v MPa	108,0	67,3	37,3	81,3	63,3	25,7
Statický modul deformace E_{v2} konstrukční vrstvy v MPa po 8 dnech	227,0 238,3	-	-	182,0 183,5	-	-

Tabulka 19 - Výsledky dynamické zatěžovací zkoušky pokusného úseku Vysoké Mýto 2

Oproti prvnímu měření in situ, byl měřen nárůst únosnosti i po 8 dnech na úsecích, které obsahovaly cement. Únosnost byla měřena 2x.



Obrázek 55 - Porovnání únosností na pokusném úseku Vysoké Mýto 2

Z naměřených hodnot vyplývá, že únosnost referenčního CB recyklátu na úseku 2/3 byla 37,3 MPa a směsného recyklátu na úseku 2/6 25,7 MPa. Směsi, které obsahovaly samotná vlákna (úsek 2/2 a 2/5) vykazovaly přibližně dvojnásobný nárůst únosností, než referenční vzorky, konkrétně úsek 2/2 hodnotu 67,3 MPa a úsek 2/4 hodnotu 63,3 MPa. Z praktického hlediska lze únosnosti považovat za shodné, nehledě na použitý recyklát. Nejlepších výsledků bylo dosaženo ve směsích s vlákny a cementem na úsecích 2/1 a 2/4. Na úseku 2/4 byla naměřena únosnost 81,3 MPa a na úseku 2/1 dokonce únosnost 108,0 MPa, což představuje přibližně 3x zvýšení únosnosti oproti referenčnímu vzorku.

Měření únosnosti po 8 dnech po pokládce ukázalo, že únosnost se během této doby zvýšila o více jak 100 MPa u obou měřených směsí. Na úseku 2/1 byla při prvním měření zaznamenána hodnota 227,0 MPa a při druhém měření hodnota 238,3 MPa. Na úseku 2/4 byla při prvním měření zaznamenána hodnota 182,0 MPa a při druhém měření hodnota 183,5 MPa.

Fotodokumentace z měření je uvedena v příloze B.

8.3 POKUSNÝ ÚSEK ČERVENÝ ÚJEZD

Poslední měření se uskutečnilo na stavbě v Červeném Újezdě, poblíž města Tábor. Tentokrát byla lokální zemina, pomocí zemní frézy, zlepšena na druhém úseku pouze cementem a na třetím úseku kombinací vláken s cementem. Zemina, resp.

vytvořené směsi představovaly zemní pláň. Složení jednotlivých úseků je uvedeno v následující tabulce:

ÚSEK	3/1	3/2	3/3
Zemina	100	100	100
Vlákna	-	-	0,5
Cement 32,5	-	2	2

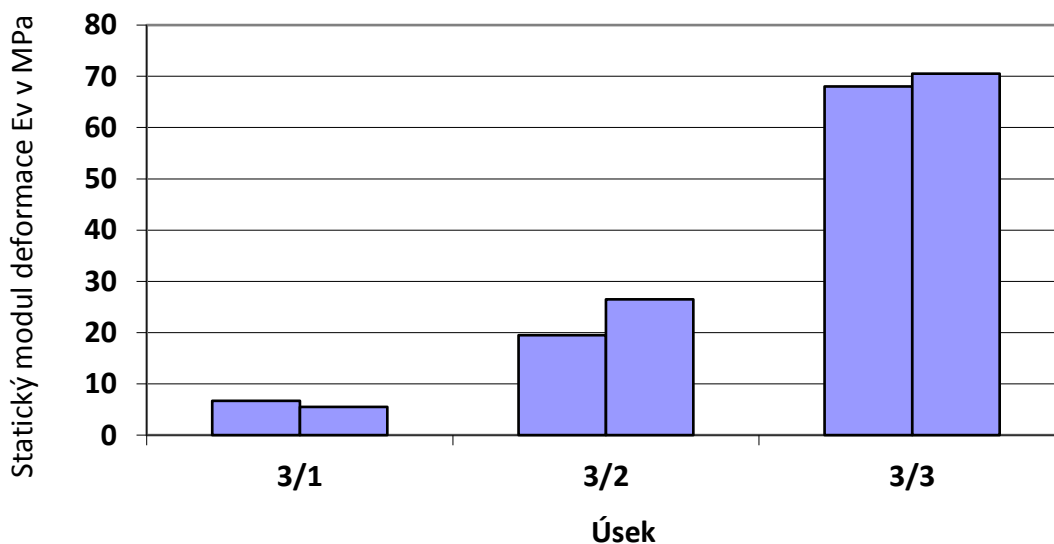
Tabulka 20 - Složení směsí na jednotlivých úsecích pokusného úseku Červený Újezd

Úsek 3/1 představoval referenční zeminu, úsek 3/2 zeminu zlepšenou cementem a poslední úsek 3/3 představoval směs zeminy, vláken a cementu.

Na všech úsecích byly provedeny vždy dvě měření únosnosti. Získané hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce:

ÚSEK	3/1	3/2	3/3
Statický modul deformace E_v v MPa	6,7	19,5	68,0
	5,5	26,5	70,5

Tabulka 21 - Výsledky dynamické zatěžovací zkoušky pokusného úseku Červený Újezd



Obrázek 56 - Srovnání únosností na pokusném úseku Červený Újezd

Ze získané hodnoty únosnosti zemní pláně tvořené pouze referenční zeminou je patrné, že zemina nespĺnila požadavky na min. únosnost pro podloží typu PIII a bylo

nutné ji zlepšit. Únosnost na úseku 3/1, kde se referenční zemina nacházela, dosahovala pouze 6,7 a 5,5 MPa.

Po přidání 2 % hm. cementu došlo k více jak trojnásobnému nárůstu únosnosti, konkrétně byly naměřeny hodnoty 19,5 a 26,5 MPa.

Nejlepší výsledky únosnosti byly naměřeny na úseku 3/3, který byl tvořen zeminou, vlákny (0,5 % hm.) a cementem (2 % hm.). Únosnost dosáhla hodnoty 68,0 MPa a 70,5 MPa, čímž dokonce dosáhla hodnoty pláně parametrů PII.

Fotodokumentace z měření je uvedena v příloze B.

9 CELKOVÉ ZHODNOCENÍ A ZÁVĚR

Mikrovyztužování vzniklo již před několika tisíci lety, ale od jejího využívání se postupně upustilo a v dnešní době se již moc nepoužívá, a pokud ano, většinou se jedná o vyztužování betonu pomocí drátků (drátkobeton). Aplikace v dopravním stavitelství je de facto nulová, navzdory tomu, že podobný princip, konkrétně makrovyztužování pomocí geosyntetik, se provádí velmi často. Upuštění od vyztužování krátkými vlákny můžeme přisuzovat dostatečné zásobě vhodných materiálů, které bylo vždy možné na stavbu dopravit. Postupem času se ovšem náklady na dovoz začaly zvyšovat a začalo se přemýšlet o možnosti využití lokálních zdrojů (zemin). Do nevhodných nebo podmíněčně vhodných zemin se začala aplikovat různá hydraulická pojiva a vznikla tzv. stabilizace, která až do dnešní doby převládá nad ostatními typy způsobů zlepšování zemin. Ovšem v současné době se potýkáme s hromaděním velkého množství nejrůznějších odpadů. Nejen komunální, ale také stavební či výrobní odpad většinou končí na skládkách, ačkoliv by bylo možné ho recyklovat a opětovně využít, například pro stavbu vozovek. I v oblasti stabilizace se začaly používat odpadní materiály, konkrétně vysokopeční struska a popílek.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo posoudit, zda odpadní sklovláknitá vlákna mohou zlepšit vlastnosti nestmelených a zrnitých materiálů. Ověření probíhalo jak v laboratorních podmínkách, tak měřeními „v terénu“ na pokusných úsecích. V laboratoři se nejprve stanovily vlastnosti vstupních materiálů, konkrétně cementobetonového recyklátu a dvou zemin. Z těchto materiálů byly vytvořeny směsi s různým obsahem a tvarem vláken a také cementem, který primárně sloužil jako lepidlo mezi vlákny a zrny referenčních materiálů. Vlákna měla tvar volných vláken nebo mříží s různou šířkou (20 mm a 90 mm). Hlavní sledovanou vlastností směsí byla únosnost (IBI a CBR), protože se předpokládalo, že vlákna právě tuto vlastnost zlepšují.

Referenční cementobetonový recyklát byl podroben prosévací zkoušce, ze které vyplynulo, že obsahují značné množství drobných a jemných zrn, což je pro aplikaci krátkých vláken optimální. Dále byla stanovena zhutnitelnost a hodny únosnosti CBR a IBI. Z CB recyklátu byly vytvořeny 3 směsi s různým zastoupením vláken a v poslední směsi se navíc nacházelo nepatrné množství cementu. Na všech směsích byly stanoveny únosnosti CBR a IBI. Výsledky ukázaly, že samotný CB recyklát má značnou únosnost CBR, kterou překonala pouze směs se všemi typy

vláken a přidavkem cementu. Lze tedy konstatovat, že pokud by se uvažovalo pro využití CB recyklátu pro stavbu podkladní vrstvy vozovky, pro zvýšení jeho únosnosti je vhodné do něho aplikovat testovanou rozptýlenou v podobě jak volných vláken, tak různých tvarů mříží, které zajistí dostatečné spojení se zrny. Pro zlepšení spojení je navíc vhodné aplikovat malé množství cementu.

Druhým referenčním materiálem byla písčítá hlína, které nesla označení Zemina 1. Zemina byla nejprve klasifikovaná pomocí prosévací a hustoměrné zkoušky a zároveň byla zjištěno, že se jedná o podmíněčně vhodnou zeminu, která je nebezpečně namrzavá. Hodnota únosnosti CBR tudíž byla velmi malá a nespĺnila ani podmínky pro podloží typu PIII, proto bylo nutné ji zlepšit. Stejně jako u prvního testovaného materiálu byly vytvořeny 3 směsi s vlákny, na kterých byly stanoveny hodnoty únosnosti. Všechny varianty směsí zlepšili únosnost CBR i IBI, ale pouze u poslední varianty, která kromě vláken obsahovala i pojivo, došlo k takovému nárůstu únosnosti, že by bylo možné zeminu použít do podloží vozovky. Zajímavé bylo, že varianta s většími mřížemi vykazovala horší únosnost, než varianta s menšími mřížemi. Toto zjištění potvrzuje závěry několika studií, které říkají, že čím je výztuž podobnější zrnům referenčního materiálu, tím dojde k lepšímu spojení mezi výztuží a zrny, a tím dojde k zlepšení vlastností testovaného materiálu.

Posledním referenčním materiálem byla Zemina 2. Pomocí prosévací a hustoměrné zkoušky bylo zjištěno, že se jedná o písek hlinitý, který je podmíněčně vhodný k použití do podloží vozovky a je mírně namrzavý. Ani únosnost CBR této testované zeminy nevyhověla požadavkům na podloží typu PIII. Oproti předchozím referenčním materiálům byly ze Zeminy 2 vytvořeny pouze dvě směsi. První obsahovala pouze cement a druhá volná vlákna s cementem. Účelem bylo porovnání, zda vlákna budou mít určitý přínos v cementové stabilizaci. Naměřené hodnoty CBR ukázaly, že vlákna v kombinaci s cementem několikanásobně zvyšují únosnost a směs může být použita jak do podloží, tak do konstrukčních vrstev vozovky.

Aby bylo možné prokázat pozitivní vliv vláken na únosnost zlepšovaného materiálu, byla provedena celkem tři měření in – situ. Dvě měření proběhla v uzavřeném areálu firmy STAVITELSTVÍ – TRUNEC s.r.o. a jedno na realizované stavbě poblíž Tábora. V každém měření byly vždy realizovány dílčí úseky, na které byly aplikovány směsi s vlákny, příp. směsi s vlákny a cementem. Hlavním ukazatelem

nárůstu pevnosti byl statický modul deformace, který byl měřen nejprve na zemní pláni a poté i na konstrukční vrstvě vozovky.

V prvním měření bylo realizováno celkem 5 úseků se směsným recyklátem, který byl vyztužen vlákny a cementem. Nejlepší nárůst únosnosti byl zaznamenán u varianty, která obsahovala všechny typy vláken a malé množství cementu. Opět se prokázalo, že vlákna v podobě větších mříží mají na únosnost spíše negativní dopad, protože zaznamenaná únosnost byla dokonce nižší, než hodnota naměřená u referenčního recyklátu. Varianta s malými mřížemi a varianta s malými i velkými mřížemi dosáhly přibližně stejných únosností, čímž se potvrzuje fakt, že větší mříže jsou spíše zbytečné.

Při druhém měření na témže místě, byl zkoumán cementobetonový a směsný recyklát, ze kterých byly vytvořeny směsi s volnými vlákny a s cementem. Únosnost variant s cementem byla měřena ihned po realizaci konstrukční vrstvy a také po 8 dnech z důvodu předpokladu nárůstu únosnosti vlivem cementu. Celkově lze říci, že CB recyklát dosáhl u všech variant větší únosnosti než směsný recyklát. Nejlepší únosnost vykazovala směs recyklátu vláken a cementu,

Poslední měření proběhlo na realizaci koridoru u Červeného Újezdu, kde se primárně jednalo o cementovou stabilizaci. Cílem bylo porovnat, zda aplikace volných vláken dokáže zlepšit únosnosti oproti samotné stabilizaci. Výsledné hodnoty prokázaly, že vlákna zlepšují únosnost a dokonce zlepšená zemina dosáhla únosnosti požadované na typ podloží PII.

Z laboratorních zkoušek a z měření in – situ je patrné, že vlákna (hlavně v podobě volných vláken) významně zlepšují únosnost referenčních nevyhovujících materiálů. Nejlepších výsledků bylo dosaženo, pokud se k vláknu přidalo nepatrné množství cementu, které vlákna udělalo lepivějšími, a ony mohly lépe přilnout k zrnům použitých materiálů. Ze zkoušek je patrné, že vyztužení pomocí odpadních sklovláknitých vláken v kombinaci s cementem lze doporučit jako prostředek pro zlepšení vlastností nevhodného vstupního materiálu, ale pro praktické využití by bylo vhodné doplnit získané poznatky dalšími měřeními, které by kombinovali různou délkou, tvar a koncentrací vláken s různým obsahem pojiva.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Trojfázový systém zeminy [27]	14
Obrázek 2 - Konzistenční stavy zeminy	17
Obrázek 3 - Křivka zrnitosti [25]	19
Obrázek 4 - Trojúhelníkový diagram 1 [25]	19
Obrázek 5 - Trojúhelníkový diagram 2 [25]	20
Obrázek 6 - Sheibleho kritérium namrzavosti [26]	21
Obrázek 7 - Diagram plasticity [25]	21
Obrázek 8 - Schéma štěrkopískového polštáře pod plošným základem [28]	23
Obrázek 9 - Pokládka geosyntetik [29]	24
Obrázek 10 - Příklad vláken rozptýlené výztuže [30]	25
Obrázek 11 - Postup stabilizace vrstvy vozovky [31]	26
Obrázek 12 - Vápenocementový sloup [5]	30
Obrázek 13 - Postup výroby štěrkového pilíře [32]	30
Obrázek 14 - Kompenzační injektáž SOILFRAC [33]	31
Obrázek 15 - Několika vřetenová souprava [34]	31
Obrázek 16 - Postup zpracování recyklátu [13]	32
Obrázek 17 - Příklad cementobetonového recyklátu frakce 32/63 [35]	33
Obrázek 18 - Příklad směsného recyklátu frakce 32/63 [35]	34
Obrázek 19 - Výroba vepřovic [36]	36
Obrázek 20 - Mřížka pro zajištění různé orientace zrn [16]	36
Obrázek 21 - Testované vzorky: a) s polyesterovými vlákny; b) s polypropylenovými vlákny; c) se skelnými vlákny [18]	37
Obrázek 22 - Bambusová vlákna [37]	39
Obrázek 23 - Jutová vlákna [38]	39
Obrázek 24 - Lněná vlákna [39]	40
Obrázek 25 - Kokosová vlákna [40]	40
Obrázek 26 - Palmová vlákna [41]	41
Obrázek 27 - Sisalová vlákna [42]	42
Obrázek 28 - Slaměná vlákna [43]	43

Obrázek 29 - Vlákna z cukrové třtiny [44]	43
Obrázek 30 - Polypropylenová vlákna [45]	44
Obrázek 31 - Polyesterová vlákna [46]	45
Obrázek 32 – Polyetylenová vlnitá vlákna [47]	45
Obrázek 33 - Polyvinyl alkoholová vlákna [48]	46
Obrázek 34 - Nylonová vlákna [49]	46
Obrázek 35 - Příklady ocelových vláken [50]	47
Obrázek 36 - Skelná vlákna [51]	47
Obrázek 37 - Rozptýlená výztuž v podobě volných vláken	52
Obrázek 38 - Rozptýlená výztuž v podobě mříže 20×550	53
Obrázek 39 - Rozptýlená výztuž v podobě mříže 90×550	53
Obrázek 40 - Křivka zrnitosti CB recyklátu	57
Obrázek 41 - Graf zhutnitelnosti CB recyklátu	58
Obrázek 42 - Průběh zkoušky IBI směsí s CB recyklátem	59
Obrázek 43 - Průběh zkoušky CBR směsí s CB recyklátem	60
Obrázek 44 - Křivka zrnitosti zeminy 1	62
Obrázek 45 - Graf zhutnitelnosti zeminy 1	63
Obrázek 46 - Průběh zkoušky IBI směsí se zeminou 1	64
Obrázek 47 - Průběh zkoušek CBR směsí se zeminou 1	65
Obrázek 48 - Křivka zrnitosti zeminy 2	67
Obrázek 49 - Průběh zkoušek IBI se zeminou 2	68
Obrázek 50 - Průběh zkoušek CBR směsí se zeminou 2	69
Obrázek 51 - Srovnání IBI a CBR směsí s CB recyklátem	69
Obrázek 52 - Srovnání IBI a CBR směsí se zeminou 1	70
Obrázek 53 - Srovnání IBI a CBR směsí se zeminou 2	71
Obrázek 54 - Porovnání únosností na pokusném úseku Vysoké Mýto 1	73
Obrázek 55 - Porovnání únosností na pokusném úseku Vysoké Mýto 2	75
Obrázek 56 - Srovnání únosností na pokusném úseku Červený Újezd	76

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Rozdělení zemin dle velikosti zrna [2]	18
Tabulka 2 – Složení a rozsah zkoušek směsí s CB recyklátem	54
Tabulka 3 – Složení a rozsah zkoušek směsí se zeminou 1	55
Tabulka 4 – Složení a rozsah zkoušek směsí se zeminou 2	55
Tabulka 5 – Zrnitost CB recyklátu	56
Tabulka 6 – Zhutnitelnost CB recyklátu	58
Tabulka 7 – Okamžitý index únosnosti IBI směsí s CB recyklátem	59
Tabulka 8 – Kalifornský poměr únosnosti CBR směsí s CB recyklátem	60
Tabulka 9 – Zrnitost zeminy 1	61
Tabulka 10 – Zhutnitelnost zeminy 1	63
Tabulka 11 – Okamžitý index únosnosti IBI směsí se zeminou 1	64
Tabulka 12 – Kalifornský poměr únosnosti CBR směsí se zeminou 1	65
Tabulka 13 – Zrnitost zeminy 2	66
Tabulka 14 – Okamžitý index únosnosti IBI směsí se zeminou 2	67
Tabulka 15 – Kalifornský poměr únosnosti CBR směsí se zeminou 2	68
Tabulka 16 – Složení směsí na jednotlivých úsecích pokusného úseku Vysoké Mýto 1	72
Tabulka 17 – Výsledky dynamické zatěžovací zkoušky pokusného úseku Vysoké Mýto 1	73
Tabulka 18 – Složení směsí na jednotlivých úsecích pokusného úseku Vysoké Mýto 2	74
Tabulka 19 – Výsledky dynamické zatěžovací zkoušky pokusného úseku Vysoké Mýto 2	74
Tabulka 20 – Složení směsí na jednotlivých úsecích pokusného úseku Červený Újezd	76
Tabulka 21 – Výsledky dynamické zatěžovací zkoušky pokusného úseku Červený Újezd	76

PŘEHLED CITOVANÉ LITERATURY

- [1] LAMBOJ, L., ŠTĚPÁNEK, Z. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03094-6.
- [2] Vlastnosti skalních hornin a zemin. In: *geologie.vsb*. [Online]. [Citace: 2019-11-11] http://geologie.vsb.cz/geologie/KAPITOLY/4_VLASTNOSTI_HORNIN_ZEMIN/4_valstn_zem_skal.htm.
- [3] ZAJÍČEK, J. *Vlastnosti zemin a jejich uplatňování při stavbě aktivní zóny*. In: Sdružení pro výstavbu silnic. [Online]. [Citace: 2019-11-11]. <http://www.sdruzenisilnice.cz/Download.aspx?param=jx3godhnp7M1LWTdfUhReGZRtkIX6DudgOUZ8zih48Wkibye97vO86zBXJcaMSNYr%2F7RLfAR4HuJHStyUJBSyov1ORpC%2B1t13coKiAqNAPkCTbzJz8Vn5ZahMOPQEGUxYn97ZjDGaweKaBD8KPy%2B7X1TLxvyzim9FoVgevw3XUjyFr%2B94ETGGvoMW%2FrE0%2F0n>.
- [4] TP 94 Úprava Zemin. Praha 5 : MD - OPK, 2013. 77/2013-120-TN/1.
- [5] Zlepšování zemin. In: *Katedra geotechniky, Fakulta stavební, ČVUT*. [Online]. [Citace: 2019-11-11]. <http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2011/12/prednaska-11.pdf>.
- [6] SOLAŘ, J. *Poruchy a rekonstrukce zděných staveb*. Praha 7 : Grada, 2008. ISSN 978-80-247-2672-4.
- [7] HOLÝ, M. *Použití geosyntetik pro zlepšování únosnosti podloží a konstrukčních vrstev silničních a inženýrských staveb*. In: ABS Portal. [Online]. 15. 2. 2017. [Citace: 2019-11-11]. <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/geotechnika/pouziti-geosyntetik-pro-zlepsovani-unosnosti-podlozi-a-konstrukcnich-vrstev-silnicnich-a-inzenyrskych-staveb>.

- [8] RUBIŠAROVÁ, H., KRESTA, F. *Možnost využití rozptýlené výztuže při úpravě vlastností zemin*. In: ABS Portal. [Online]. 17. 7. 2009. [Citace: 2019-11-11]. <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/geotechnika/moznost-vyuziti-rozptylene-vyztuze-pri-uprave-vlastnosti-zemin>.
- [9] BEHNOOD, A. *Soil and clay stabilization with calcium- and non-calcium-based additives: A state-of-the-art review of challenges, approaches and techniques*. In: ScienceDirect. [Online]. 22. 8. 2018. [Citace: 2019-11-11]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214391218300904#s0010>. ISBN 2214-3912.
- [10] Perspektivní stavební materiály. In: *Envi Web*. [Online] 20. 2. 2006. [Citace: 2019-11-21]. <http://www.enviweb.cz/57375>.
- [11] Kompenzační injektáž SOILFRAC. In: *Keller*. [Online]. [Citace: 2019-11-21]. <https://www.kellergrundbau.cz/technologie/kompenzacni-injektaz-soilfrac/>.
- [12] Zlepšování základových půd. In: *SOLETANCHE*. [Online]. [Citace: 2019-11-21]. http://www.soletanche.cz/upload/09SOL-Info-Zlepsovani_zakladovych_pud.pdf.
- [13] TP 210 Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních staveb. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2011.
- [14] STEHLÍK, D., ADAMEC, V. *Využití recyklátů při výstavbě, opravách a rekonstrukcích vozovek pozemních komunikací*. In: Univerzita Komenského v Bratislavě, Přírodovědecká fakulta. [Online]. [Citace: 2019-11-21]. https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/actaenvi/ActaEnvi_2012_Suppl.1/21_S_Stehlik_Adamec_Acta2012_Suppl_1.pdf. ISBN 1335-0285.
- [15] MICHALOWSKI, R.L., ČERMÁK, J. *Triaxial Compression of Sand Reinforced With Fibres*. In: ResearchGate. [Online]. 2003. [Citace: 2019-11-21] https://www.researchgate.net/publication/245293709_Triaxial_Compression_of_Sand_Reinforced_with_Fibers?enrichId=rgreq-3cd7268

35fc0d84c879750c3b606360cXXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI0N
TI5MzZcwOTtBUzozMTA5MTkzMjQ3MzM0NDBAMTQ1MTE0MDM1MTA3
Mg%3D%3D&el=1_x_2&_.

- [16] FALORCA, I.M.C.F.G., PINTO, M.I.M. *Effect of short, randomly distributed polypropylene microfibrils on shear strength behaviour of soils*. In: ICE Virtual Library - essential engineering knowledge. [Online]. 1. 3. 2011. [Citace: 2019-11-21]. <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/gein.2011.18.1.2>. ISBN 1072-6349.
- [17] CONSOLI, N.C., MONTARDO, J.P., DONATO, M., PRIETTO, P.D. *Effect of material properties on the behaviour of sand—cement—fibre composites*. In: ICE Virtual Library - essential engineering knowledge. [Online]. 2004. [Citace: 2019-11-21]. <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/grim.2004.8.2.77>. ISBN 1755-0750.
- [18] ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Síťový rozbor.
- [19] ČSN EN ISO 17892-12 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkouška zemin - Část 12: Stanovení meze tekutosti a meze plasticity.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] R 117 110. *Technický list č.8*. Litomyšl : Saint-Gobain Technical Fabrics Europe.

- [25] MEZA podklady. In: *Katedra geotechniky, Fakulta stavební, ČVUT*. [Online]. 2008. [Citace: 2019-11-21]. http://departments.fsv.cvut.cz/k135/cms/?page_id=115.
- [26] Mechanika zemin. In: *VUT FAST Brno, Ústav geotechniky*. [Online]. [Citace: 2019-11-28]. <https://docplayer.cz/1038984-Mechanika-zemin-rozpis-cviceni-vcetne-pozadovanych-dokumentu.html>.
- [27] MARKOVÁ, T. *MECHANIKA ZEMIN*. In: *fce.vutbr.cz*. [Online] 2016. [Citace: 2019-11-28]. <https://docplayer.cz/21398245-Mechanika-zemin-osnova-podklady-do-cviceni-ucebni-texty-doporucena-literatura-odkazy-na-jine-webove-stranky-zajimavosti.html>.
- [28] ŠTĚRKOPÍSKOVÉ POLŠTÁŘE . In: *Stavební Klub*. [Online]. [Citace: 2019-11-28] https://www.stavebniklub.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrOM1TL05UgePQR0Unkd3dGP3oz27aFIIOBA.
- [29] Pokládka geosyntetik. In: *VIAPROS, s.r.o.* [Online]. [Citace: 2019-11-28]. <http://www.viapros.cz/ckfinder/userfiles/images/Pokl%C3%A1dka%20geokompozit%C5%AF%20s%20textili%C3%AD.png>.
- [30] Výztužná vlákna – NAMFLEX®. In: *CIUR a.s.* [Online]. [Citace: 2019-11-28]. <https://www.ciur.cz/files/news/19/namflex.jpg>.
- [31] Úprava a stabilizace zemin. In: *RTON CZ, s.r.o.* [Online]. [Citace: 2019-11-28]. <http://www.rton.cz/data/files/image/banner/uprava-zemin/2.jpg>.
- [32] ŠTĚRKOVÉ PILÍŘE. In: *KELLER – speciální zakládání, spol. s r.o.* [Online]. [Citace: 2019-12-2]. https://www.kellergrundbau.cz/wp-content/uploads/2014/05/keller_vibro-replacement.png.
- [33] KOMPENZAČNÍ INJEKTÁŽ SOILFRAC. In: *KELLER – speciální zakládání, spol. s. r.o.* [Online]. [Citace: 2019-12-5]. <https://www.kellergrundbau.cz/wp-content/uploads/2014/05/Soilfrac-e1421166590609.jpg>.

- [34] Examples for wet soil mixing. In: *LIEBHERR*. [Online]. [Citace: 2019-12-5]. https://www.liebherr.com/shared/media/construction-machinery/deep-foundation/slider/soil-improvement/wet-soil-mixing/liebherr-wet-soil-mixing-nassmischen-spezialtiefbau-deep-foundation-hollow-drilling-linkage-blades-knives-paddles_img_560x375.jpg.
- [35] Recyklované kamenivo. In: *ENVISAN-GEM,a.s.* [Online]. 2016. [Citace: 2019-12-5]. <https://www.envisan.cz/prodej-vyrobkusypke-stavebni-hmoty/>.
- [36] Vepřovice. In: *Wikipedie*. [Online]. [Citace: 2019-12-5]. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2a/RomaniaDanubeDelta_MakingMaterialForCOConstructing0002jpg.JPG/1024px-RomaniaDanubeDelta_MakingMaterialForCOConstructing0002jpg.JPG.
- [37] BAMBOO FIBRES. In: *MaterialDistrict*. [Online]. 26. 6. 2017. [Citace: 2019-12-5]. <https://materialdistrict.com/material/bamboo-fibres/>.
- [38] How are jute fibres made from the jute plant? In: *Quora*. [Online]. 26. 3. 2018. [Citace: 2019-12-5]. <https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-9b2e8691b54bd6741a7cc90cb8d5e5a8-c>.
- [39] Flax fibres. In: *decolis*. [Online]. [Citace: 2019-12-5]. <https://decolis.com/wp-content/uploads/2016/10/flax-fibre-service.jpg>.
- [40] Carded Coir - Coconut Fibre. In: *Allforupholstery*. [Online]. 2015. [Citace: 2019-12-5]. <https://allforupholstery.com/14774/carded-coir-coconut-fibre-per-kg.jpg>.
- [41] Raw Brown Palm Fiber, for Concrete, Packaging Type: Carton. In: *indiamart*. [Online]. [Citace: 2019-12-5]. <https://4.imimg.com/data4/XI/UK/MY-25065022/palm-fiber-500x500.gif>.
- [42] Brazil sisal fiber with TYPE 3 DB . In: *Alibaba.com*. [Online]. [Citace: 2019-12-5]. <https://sc01.alicdn.com/kf/UTB8D0BOIpfFXKJk43Otg6xIPFXaE/Brazil-sisal-fiber-with-TYPE-3-DB.jpg>.

- [43] Straws. In: *Feedipedia*. [Online]. [Citace: 2019-12-5]. https://www.feedipedia.org/sites/default/files/images/oriza_sativa_rice_straw_06_0.jpg.
- [44] Bagasse. In: *Wikipedia*. [Online]. [Citace: 2019-12-5]. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Bagasse_in_Hainan_-_02.jpg.
- [45] Polypropylene fiber. In: *ResearchGate*. [Online]. 2019. [Citace: 2019-12-5]. https://www.researchgate.net/profile/Alaa_Shaban/publication/332247341/figure/fig1/AS:744782896852994@1554581488979/Polypropylene-fiber_W640.jpg.
- [46] 100% polyester fiber concrete cement polyester micro fiber . *alibaba.com*. [Online]. [Citace: 2019-12-5]. <https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1npBYcmBYBeNjy0Feq6znmFXar/100-polyester-fiber-concrete-cement-polyester-micro.jpg>.
- [47] high-density polyethylene fiber PP concrete fiber . In: *Alibaba.com*. [Online]. [Citace: 2019-12-5]. <https://sc01.alicdn.com/kf/HTB19KxwjA9WBuNjSspeq6yz5VXaV/high-density-polyethylene-fiber-PP-concrete-fiber.jpg>.
- [48] RECS100. In: *Nycon*. [Online]. [Citace: 2019-12-5]. https://cdn.shopify.com/s/files/1/0088/0764/5299/products/Recs100_1400x.jpg?v=1554485806.
- [49] Multimesh. In: *Nycon*. [Online]. [Citace: 2019-12-5]. https://cdn.shopify.com/s/files/1/0088/0764/5299/products/Multimesh_21100b56-0032-415e-bfa0-e579e9921922_1400x.jpg?v=1554485449.
- [50] Steel Fibers Products. In: *Nycon*. [Online]. [Citace: 2019-12-5]. <https://nycon.com/collections/steel-fibers>.
- [51] AR-DM. In: *Nycon*. [Online]. [Citace: 2019-12-5]. https://cdn.shopify.com/s/files/1/0088/0764/5299/products/FG5_a6d499d2-aa94-479e-a0ed-7bda24c17306_1400x.jpg?v=1554485096.

PŘÍLOHA A – PRŮBĚH ZKOUŠEK CBR a IBI

1. Měření hodnot CBR a IBI CB referenčního vzorku

IBI			
PENETRACE	STAND. SÍLA	SÍLA	IBI
mm	kN	kN	%
0,5		0,47	
1		1,42	
1,5		3,03	
2		5,27	
2,5	13,2	8,08	61,2
3		11,34	
3,5		14,79	
4		18,11	
4,5		22,26	
5	20,0	25,13	125,7
5,5		28,53	
6		31,78	
6,5		34,91	
7		37,74	
7,5		40,33	
8		42,82	
8,5		45,04	
9		48,32	
9,5		49,51	
10		51,57	

CBR			
PENETRACE	STAND. SÍLA	SÍLA	CBR
mm	kN	kN	%
0,5		0,50	
1		1,20	
1,5		2,17	
2		3,48	
2,5	13,2	5,10	38,6
3		7,09	
3,5		9,43	
4		12,06	
4,5		14,80	
5	20,0	18,49	87,45
5,5		20,23	
6		22,80	
6,5		25,55	
7		28,12	
7,5		30,61	
8		32,97	
8,5		35,36	
9		37,52	
9,5		39,78	
10		41,86	

2. Měření hodnot CBR a IBI zeminy 1

IBI			
PENETRACE	STAND. SÍLA	SÍLA	IBI
mm	kN	kN	%
0,5		0,26	
1		0,50	
1,5		0,77	
2		1,05	
2,5	13,2	1,32	10,0
3		1,58	
3,5		1,80	
4		20,02	
4,5		2,22	
5	20,0	2,41	12,1
5,5		2,58	
6		2,75	
6,5		2,91	
7		3,06	
7,5		3,21	
8		3,35	
8,5		3,49	
9		3,63	
9,5		3,75	
10		3,88	

CBR			
PENETRACE	STAND. SÍLA	SÍLA	CBR
mm	kN	kN	%
0,5		0,25	
1		0,34	
1,5		0,42	
2		0,52	
2,5	13,2	0,59	4,5
3		0,69	
3,5		0,77	
4		0,85	
4,5		0,93	
5	20,0	1,02	5,1
5,5		1,09	
6		1,17	
6,5		1,24	
7		1,30	
7,5		1,38	
8		1,45	
8,5		1,52	
9		1,59	
9,5		1,65	
10		1,72	

PŘÍLOHA B – FOTODOKUMENTACE

POKUSNÝ ÚSEK VYSOKÉ MÝTO 1



Označení bodů zemní pláň



Příprava směsi



Směs s vlákny



Úsek 1/1



Úsek 1/3



Úsek 1/4



Úsek 1/5

POKUSNÝ ÚSEK VYSOKÉ MÝTO 2



Vyznačení úseků



Měření únosnosti zemní pláně



Rozdíl mezi směsným a CB recyklátem



Aplikace cementu na rozprostřená vlákna



Detail směsi s vlákny



Detail směsi s vlákny a cementem



Měření únosnosti dílčího úseku 2/3

POKUSNÝ ÚSEK ČERVENÝ ÚJEZD



Aplikace vláken



Zpracování vláken do zeminy frézou



Detail zhutněné vrstvy

PŘÍLOHA C – TECHNICKÝ LIST č. 8

R 117 A101

Všeobecný popis

Sklovláknité perlinkové tkaniny kombinované se speciálně navrženou povrchovou úpravou mohou být použity v širokém okruhu aplikací.

Mřížka R 117 se používá jako jedna z komponent venkovních kontaktních zapteplovacích systémů. Vysoce kvalitní syntetický povlak na skleněné přízi chrání naši mřížku proti alkalickému působení lepidel a dalších používaných materiálů.

Technické vlastnosti

Podniková norma: 0326 Sklovláknité perlinkové tkaniny

Vlastnosti	Jednotky Popis	R 117 A101	
		Osnova	Útek
Dostava	na 100 mm	21 x 2	17,5
Vazba		poloviční perlinka	
Standardní šíře (1)	cm jednotlivá hodnota	100 nebo 110	
Délka role (1)	m jednotlivá hodnota	50	
Tloušťka upravené tkaniny	mm informativní hodnota	0,50	
Plošná hmotnost rezné tkaniny	g/m ² informativní hodnota	117	
Plošná hmotnost upravené tkaniny	g/m ² jednotlivá hodnota minimum	145	
Obsah spalitelných látek (LOI)	% hmotnosti jednotlivá hodnota	20	
Typ úpravy		alkalivzdorná bez změkčovadla zabraňující posunu nití	
Světlost ok	mm informativní hodnota	4,0 x 4,5	

(1) Ostatní rozměry dle požadavku

Pevnost a protažení:

Minimální jednotlivé pevnosti (N/50 mm) a maximální protažení (%) při dosažení minimální pevnosti zjišťované dle DIN EN ISO 13934-1 :

Způsob uložení	Pevnost		Protažení
	Nominální hodnota	Jednotlivá hodnota	Průměrná hodnota
Standardní podmínky	2100 / 2200	1900 / 1800	3,8 / 3,8
5 % NaOH	1300 / 1350	1000 / 900	3,5 / 3,5
Rychlostest	1500 / 1600	1100 / 1000	3,5 / 3,5
3 iontový roztok (ETAG 004)		1000 / 1000 50 % / 50 %	

Tolerance :

Dostava: ± 5 % po osnově a útku

Šíře: ± 1 %

Délka: ± 2 %

LOI: ± 4 %

Zkoušení, přejímka:

Způsob zkoušení, odběr vzorků a přejímání je uveden v PN 0326.

Balení:

Tkaniny jsou baleny vertikálně do kartonu uloženého na dřevěné paletě. Konkrétní způsob balení je v PN pro balení nebo dohodnut se zákazníkem.

Skladování:

Zabalené role je třeba skladovat v suchých skladech. Teplota pro skladování je - 10 °C až + 50 °C.

Sklovláknité perlinkové
tkaniny

Technický list

Vlastnosti

- Vysoká mechanická pevnost
- Vynikající rozměrová stabilita
- Kompatibilní se všemi hlavními fasádními systémy



Vydáno:

Saint-Gobain Technical Fabrics Europe

Saint-Gobain Vertex, s.r.o.

Sokolovská 106

CZ - 570 21 Litomyšl

Tel: + 420 461 651 111

Fax: + 420 461 612 769

www.sgff.eu

SGTF Europe si vyhrazuje právo měnit zde uvedené informace bez předchozího upozornění (3. vydání-20.3.2008).

Technický list č. 8


SAINT-GOBAIN
TECHNICAL FABRICS