

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky

Zkoušky zemin pro stavbu „Sil.I/11 Prodloužená Rudná“ –

zpracování výsledků

Soils Testing for the Construction „Sil.I/11 Prodloužená Rudná“ –

Processing of Results

Student:

Nikola Hornáčková

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Stolárik, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Nikola Horňáčková**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika
Téma: Zkoušky zemin pro stavbu „Sil.I/11 Prodloužená Rudná“ – zpracování výsledků
Soils Testing for the Construction “Sil.I/11 Prodloužená Rudná” – Processing of Results
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Úvod
Vlastnosti zemin
Laboratorní a in-situ zkoušky
Představení lokality
Vlastní zpracování výsledků
Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hulla, J., Turcek, P. *Zakladanie stavieb*. Jaga: Bratislava, 1998. ISBN 80-88905-05-2.
2. Vaníček, I., Vaníček, M. *Earth Structures*. Kluwer Academic Publisher Group. ISBN 9781402039638.
3. Head, K.H. *Manual of Soil Laboratory Testing*, Whittles Publishing, 2006, Dunbeath Mill. ISBN 978-1420044676
4. Germaine, T.J. and Germaine V.A. *Geotechnical Laboratory Measurements for Engineers*, Wiley, 2009, London. ISBN 978-0470150931
5. Brouwer, H. *In-Situ Soil Testing*, Lankelma, Coldharbour Barn, 2010, ISBN 978-1-86081-951-3
6. SARSBY, R. *Environmental Geotechnice*, Thomas Telford Limited, 2000, London. ISBN 978-0727727527

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Stolárik, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016



doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 2.5.2016

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 2.5.2016

.....

podpis studenta

Anotace

Předmětem bakalářské práce je zpracování a vyhodnocení dat laboratorních a polních zkoušek, které je součástí dílčí závěrečné zprávy zhotovitele o hodnocení jakosti díla. Práce obsahuje identifikační údaje stavby, základní rozdělení vlastností zemin, laboratorní a polní zkoušky, základní charakteristiku zájmového území a vlastní zpracování dat. Vyhodnocení se řídí dle ČSN 73 6133 – Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací a podle metodického pokynu Ředitelství silnic a dálnic.

Klíčová slova

vlastnosti zemin, silnice I/11 – Prodloužená Rudná, laboratorní zkoušky, zkoušky in – situ, dopravní násyp, zpracování dat

Annotation

The object of work is data processing and evaluation of laboratory and field tests, which is part of the sub-contractor's final report on the evaluation of the quality of the work. Work includes identification data structures, basic distribution of soil properties, laboratory and field tests, the basic characteristics of the area and its own data processing. Evaluation is governed by the CSN 73 6133 - Design and implementation of the embankment roads and methodological instruction by Roads and Motorways Directorate.

Key words

soil properties, road I/11 – Prodlouzena Rudna, laboratory tests, field tests, transportation embankment, data procesing

Obsah bakalářské práce

Seznam použitého značení	3
1. Úvod	4
2. Identifikační údaje stavby	5
2.1 Stručná charakteristika stavby	5
3. Vlastnosti zemin	6
3.1 Fyzikální a indexové vlastnosti	6
3.1.1 Vlhkost	6
3.1.2 Zrnitost	6
3.1.3 Hustota pevných částic zemin	9
3.1.4 Objemová hmotnost zeminy	9
3.1.5 Konzistenční meze	10
3.2 Mechanické vlastnosti	11
3.2.1 Propustnost	11
3.2.2 Stlačitelnost	11
3.2.3 Smyková pevnost	12
3.3 Chemické vlastnosti a mineralogické složení	14
4. Laboratorní a polní zkoušky	16
4.1 Laboratorní zkoušky	16
4.1.1 Vlhkost zemin	16
4.1.2 Zrnitost zemin	17
4.1.3 Proctor standard	18
4.1.4 Proctor modifikovaný	19
4.1.5 Kalifornský index únosnosti	19
4.1.6 Okamžitý index únosnosti	21
4.2 Zkoušky in – situ	21
4.2.1 Půdní objemový denzitometr	21
4.2.2 Statická zatěžovací zkouška	22
5. Základní charakteristika území	25
5.1 Morfologické, klimatické a hydrologické poměry	25
5.2 Rozsah průzkumných prací	26
5.2.1 Geofyzikální práce	26
5.2.2 Vrtné práce	26
5.2.3 Vzorkovací práce	27

5.2.4	Kopné práce.....	28
5.3	Měřičské práce.....	28
5.4	Výsledky geotechnického průzkumu pro stavební objekt.....	28
6.	Vlastní zpracování výsledků	30
6.1	Zpracování dat pro podloží násypu	30
6.2	Zpracování dat pro těleso násypu	31
6.3	Zpracování dat pro aktivní zónu a zemní pláň	31
7.	Závěr.....	35
8.	Seznam použitých zdrojů a literatury	36
8.1	Normy.....	36
8.2	Zdroje z internetu.....	36
9.	Seznam tabulek	37
10.	Seznam obrázků	37
11.	Seznam vzorců	38

Seznam použitého značení

CBR – kalifornský index únosnosti

ČSN – česká technická norma

IBI – okamžitý index únosnosti

KZP – kontrolní zkušební plán

MÚK – mimoúrovňová křižovatka

PS – Proctor standard

TP – technické podmínky

ŘSD ČR – Ředitelství silnic a dálnic České republiky

1. Úvod

Důležitou součástí zakládání pozemních komunikací je geotechnický průzkum dotčeného prostředí, na jehož výsledcích a rozborech se odráží technologický postup výstavby. Aby bylo možné získat potřebné informace, je nutné odebrat vzorky zemin a podzemní vody, které se musí podrobit laboratorním a polním zkouškám. Na základě získaných dat je možné vyhodnotit strukturu podloží a určit jeho chování v průběhu výstavby a životnosti stavby.

Předmětem bakalářské práce je zpracování dat laboratorních a polních zkoušek a jejich vyhodnocení, které se použijí do dílčí závěrečné zprávy zhotovitele o hodnocení jakosti díla pro stavbu silnice I/11, Prodloužená Rudná – hranice okresu Opava.

V první části práce je nastíněna stručná charakteristika stavby s jejími identifikačními údaji. Následuje rozbor vlastností zemin, které vstupují a vystupují z provedených zkoušek a ovlivňují jejich vyhodnocení. V další kapitole jsou popsány postupy a výsledky jednotlivých laboratorních a in – situ zkoušek jako jsou např. Proctor standard, okamžitý index únosnosti, půdní objemový denzitometr a statická zatěžovací zkouška. Na to navazuje stručný popis základní charakteristiky zájmového území, ve kterém jsou představeny morfologické, klimatické a hydrologické poměry, rozsah průzkumných prací, měřičské práce a použité úpravy v celém dopravním násypu, které byly navrhnuty na základě vyhodnocení geotechnického průzkumu. Nakonec je tabulkové vypracování veškerých naměřených dat pro podloží násypu, těleso násypu, aktivní zónu a zemní pláň dle metodického pokynu ŘSD ČR a kontrolního zkušebního plánu, ve kterém jsou obsaženy technické podmínky a ČSN.

2. Identifikační údaje stavby

Bakalářská práce byla zpracovávána na základě dodaných materiálů ze společnosti STRABAG a.s. od paní Ing. Daniely Miklíkové. Ve spolupráci s dopravní laboratoří TPA ČR s.r.o. se vyhodnocovaly veškeré laboratorní a polní zkoušky Silnice I/11 Ostrava, Prodloužená Rudná – hranice okresu Opava. Zkoušky se prováděly na stavebním objektu 101, který má staničení km 9,750 – 16.000. Investorem a správcem stavby se stalo Ředitelství silnic a dálnic České republiky. Zhotovitelé objektu se staly firmy STRABAG a.s., OHL ŽS a.s. a JHP a.s.

2.1 Stručná charakteristika stavby

Stavba silnice I/11 – Prodloužená Rudná vede z Mokřých Lazců přes Krásné pole do západního okraje Ostravy. Začátek řešeného úseku v km 9.750 je zhruba 360 m před stykovou křižovatkou silnice I/11 a III/466 15, pokračuje přes MÚK Krásné Pole, kde trasa vede podél lesa jižním směrem, překonává mostní estakádu Vřesinskou strž a tramvajovou trať Poruba – Kyjovice a dostává se do prostoru mezi východním okrajem Vřesiny a západním okrajem Poruby. V zářezu komunikace podchází pod silnicí III/4692 Poruba – Vřesina a pokračuje východním směrem do místa napojení na konec Rudné v km 16.000, kde se vytvoří MÚK deltovitého tvaru. (Obr. 1)



Obrázek 1: Situace stavby [zdroj: msstavby.cz[6]]

3. Vlastnosti zemin

Vlastnosti zemin jsou dány objektivními – přírodními okolnostmi, které souvisí s jejich vznikem. Zemina se skládá ze tří fází – kapalné, plynné a pevné. Všechny fáze mezi sebou tvoří vzájemný vztah a společně ovlivňují chování zeminy jako celku. V praxi se však uvažuje zemina jako dvoufázový systém, jelikož se sleduje napětí přenášené zrn a napětí přenášené vodou. Rozdíl mezi přenosem napětí od zrn zeminy a vody v zemině je v tom, že voda nepřenáší smykové napětí, ale pouze tlak. Proto se rozlišuje napětí totální a efektivní. Tudíž pokud se zjišťuje napjatostní stav v základové půdě musíme znát vlastnosti zemin.

Vlastnosti zemin jsou zjišťovány v laboratořích nebo zkouškami in- situ. Rozdělují se na vlastnosti fyzikální a indexové, mechanické, chemické a určení mineralogického složení a pro zvláštní účely.

3.1 Fyzikální a indexové vlastnosti

Charakterizují kvantitativně pevné částice, vzduch a vodu v zemině a jejich vzájemný poměr.

3.1.1 Vlhkost

Přírozenou vlhkostí zeminy se rozumí voda, která vyplňuje mezery mezi pevnými částicemi zeminy. Její vliv je velice zásadní na vlastnosti zeminy a na její chování při zatížení. Ovlivňuje především jemnozrné zeminy, u kterých vyjadřujeme konzistence ve stavu tvrdém, pevném, plastickém a kašovitém. Vlhkost se vyjadřuje jako poměr hmotnosti vody v zemině k hmotnosti vysušené zeminy. Jednotkou vlhkosti je procento.

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_c} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

w – vlhkost zeminy [%]

m₁ – hmotnost vzorku ve vlhkém stavu [kg]

m₂ – hmotnost vzorku v suchém stavu [kg]

m_c – hmotnost nádoby na vysoušení [kg]

3.1.2 Zrnitost

Zrnitost je jedna z nejdůležitějších vlastností zeminy, podle které se zeminy pojmenovávají a zatřídí. Popis zeminy je založený na rozdělení zrn zeminy do jednotlivých frakcí. Nejčastější metodou pro určování zrnitosti zemin je síťový rozbor, který je určen pro

zrna většího průměru než 0,063 mm. Pro zrna menšího průměru než 0,063mm se zrnitost určuje hustoměrnou metodou. Výsledky měření se znázorňují graficky křivkou zrnitosti.

Zrna dělíme podle velikosti:

- štěrk – 63 mm až 2 mm
- písek – 2 mm až 0,063 mm
- jemnozrná zemina – menší než 0,063 mm

Podle velikosti částic se rozlišují tyto složky (viz příloha A ČSN 73 6133):

Částice	Popis	Označení	Rozsah
Velmi hrubé	balvanitá složka	b	> 200 mm
	kamenitá složka	cb	60 mm až 200 mm
Hrubé	štěrková složka	g	2 mm až 60 mm
	písčítá složka	s	0,06 mm až 2 mm
Jemné (f)	hlinitá složka	m	0,002 mm až 0,06 mm
	jílovitá složka	c	< 0,002 mm

Velmi hrubé částice se při zatřídování vyjmou, zaznamená se jejich hmotnostní podíl. Zbytek zeminy se klasifikuje podle dalších hledisek.

Tabulka 1: Rozdělení složek podle velikosti zrn

V tabulce 2 je uvedeno rozdělení výchozích skupin zemin dle ČSN 73 6133.

Výchozí skupina	Základní název	Symbol	Kvalitativní znaky
Jemnozrná	Jemnozrná zemina	F (jíl – C, hlína – M)	$f > 35 \% (g + s + f)$
Písčítá	Písek	S	$f < 35 \% (g + s + f) \wedge s > g$
Štěrkovitá	Štěrk	G	$f < 35 \% (g + s + f) \wedge g > s$

POZNÁMKA Symbol tvoří základ názvu zeminy a stojí na prvním místě názvu v 1. Pádě. Doplnující písmeno tvoří přívlástek názvu. Např. S – písek, S-F – písek s příměsí jemnozrné zeminy. SC – písek jílový

Tabulka 2: Rozdělení výchozích skupin zemin

Křivka zrnitosti je součtová čára, jejíž každý bod udává procentuální zastoupení všech zrn menších než daný průměr. Lze z ní odhadnout základní parametry zeminy, jako jsou namrazavost a propustnost. (Obr. 2)

Na křivce zrnitosti se zaznamenávají charakteristické průměry zrn d_{10} , d_{30} , d_{60} , které odpovídají 10%, 30% a 60% propadu zrn. Jako efektivní zrno je považováno zrno d_{10} , které má v určitém ohledu (např. z pohledu propustnosti), stejné vlastnosti jako skutečná zemina.

Číslo nestejnozrnitosti C_u charakterizuje sklon středních částic křivky zrnitosti.

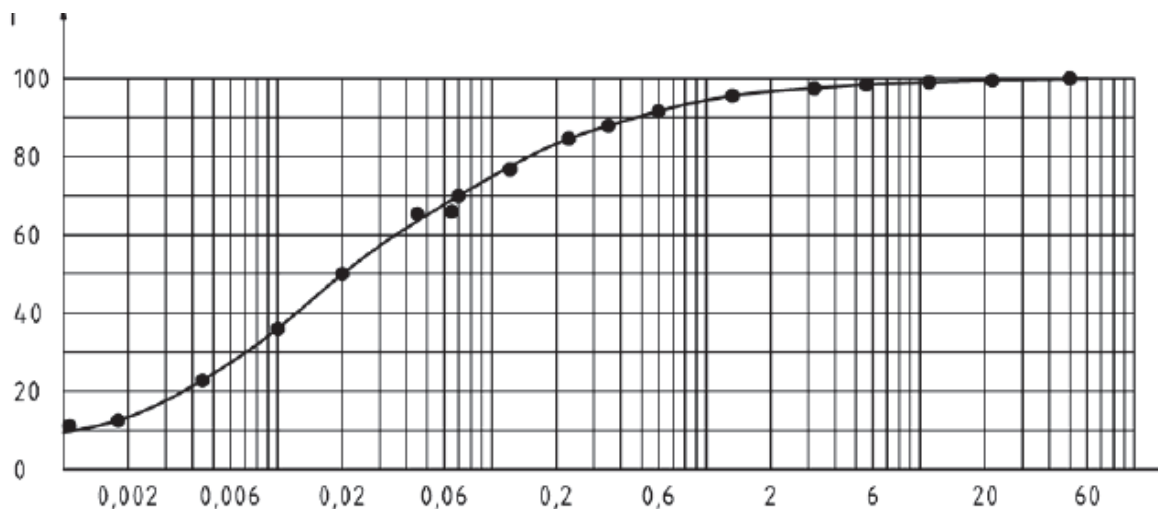
$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} [-] \quad (2)$$

- $C_u < 5$ Zemina stejnozrná
- $C_u = 5$ až 15 Zemina středně nestejnozrná
- $C_u > 15$ Zemina nestejnozrná

Číslo křivosti C_c je pomocnou hodnotou, která charakterizuje přibližný tvar křivky zrnitosti.

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} [-] \quad (3)$$

- $C_c < 1, C_c > 3$ Zemina s chybějícími frakcemi
- $C_c = 1$ až 3 Zemina dobře zrněná – plynulá křivka zrnitosti



Obrázek 2: Křivka zrnitosti dle ČSN 72 1007

3.1.3 Hustota pevných částic zemin

Hustota pevných částic ρ_s se určuje jako poměr hmotnosti pevných částic zeminy (skeletu) k jejich objemu. Jako součástí zeminy se počítá voda pevně vázaná, která zůstane v zemině po vysušení při teplotě 105°C.

Hustotu pevných částic stanovujeme laboratorně za pomoci pyknometru. Pyknometry s objemem 100 cm³ používáme pro soudržné zeminy a písky, naopak pro částice většího průměru zrn než 2 mm používáme pyknometry o objemu 500 cm³.

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} [kg \cdot m^{-3}] \quad (4)$$

m_s – hmotnost skeletu zeminy [kg]

V_s – objem skeletu zeminy [m³]

Zemina	Hustota pevných částic ρ_s
prach, písky, písčité jíly	2650 kgm ⁻³
jílovité hlíny	2650 – 2700 kgm ⁻³
jíly	2700 – 2800 kgm ⁻³

Tabulka 3: Průměrné hodnoty hustoty pevných částic

3.1.4 Objemová hmotnost zeminy

Objemová hmotnost zeminy ρ je hmotnost jednotkového objemu zeminy i s póry, které mohou být vyplněny částečně nebo úplně vodou, případně vzduchem. Vypočítá se jako podíl hmotnosti zeminy a objemu, jaký zaujímá zemina v daném uložení.

$$\rho = \frac{m}{V} [kg \cdot m^{-3}] \quad (5)$$

m – hmotnost zeminy ve vlhkém stavu [kg]

V – objem zeminy ve vlhkém stavu [m³]

Objemovou hmotnost rozlišujeme dle podmínek, ve kterých se stanovuje:

- v přirozeném uložení ρ
- suché zeminy ρ_d
- zeminy nasycené vodou ρ_{sat}
- pod hladinou podzemní vody ρ_{su}

3.1.5 Konzistenční meze

Konzistence zeminy se definuje jako stav soudržné zeminy v závislosti na vlhkosti. Jestliže soudržnou zeminu nasycujeme vodou, začne se měnit její stav ze stavu pevného na plastický, z plastického na kašovitý a nakonec na tekutý.

Jelikož neexistují ostré hranice mezi těmito stavy, zavedly se tzv. hraniční vlhkosti, které jsou stanoveny laboratorně. Vlhkost na mezi plasticity w_P je stanovena pro přechod z pevného stavu na stav plastický a vlhkost na mezi tekutosti w_L je stanovena pro přechod ze stavu plastického na stav kašovitý.

Dalším důležitým indexem je index plasticity I_p , který nám udává, o kolik vody se musí zemina obohatit, aby přešla z vlhkosti na mezi plasticity do vlhkosti na mezi tekutosti.

$$I_p = w_L - w_P [\%] \quad (6)$$

w_L – vlhkost na mezi tekutosti [%]

w_P – vlhkost na mezi plasticity [%]

Plasticita	Symbol	Mez tekutosti w_L (%)
nízká	L	< 35
střední	I	35 až 50
vyšoká	H	50 až 70
velmi vyšoká	V	70 až 90
extrémně vyšoká	E	> 90

Tabulka 4: Plasticita zemin dle ČSN 73 6133

Konzistenci zeminy lze číselně vyjádřit pomocí indexu konzistence I_c .

$$I_c = \frac{w - w_P}{w_L - w_P} [-] \quad (7)$$

Konzistence	I_c	Symbol	Chování zeminy
tvrdá	-	K1	vyschlá, při úderu kladiva se drolí
pevná	>1,00	K2	lze do ní vtisknout nehet
tuhá	0,50 – 1,00	K3	hněte se obtížně v prstech
měkká	0,05 – 0,50	K4	dá se lehce hníst v prstech
kašovitá	< 0,05	K5	při sevření se protlačuje mezi prsty

Tabulka 5: Konzistence zemin dle ČSN 73 6133

3.2 Mechanické vlastnosti

Popisují chování zeminy při deformaci a porušení. Mechanické vlastnosti rozdělujeme na přetvárné a deformační (pevnostní). Mezi pevnostní charakteristiky řadíme úhel vnitřního tření φ a soudržnost zeminy c . Naopak do přetvárných charakteristik řadíme poissonovo číslo μ a modul pružnosti a přetvárnosti E .

3.2.1 Propustnost

Charakterizuje se jako proudění vody mezi póry v zemině, které mohou mít různý tvar a velikost. Rychlost proudění závisí na druhu zeminy. Propustností zjišťujeme množství vody, které proteče za jednotku času průřezovou plochou zeminy.

$$v = \frac{Q}{A} [m \cdot s^{-1}] \quad (8)$$

Q – objem vody prosáklé za jednotku času $[m^3 \cdot s^{-1}]$

A – plocha průřezu $[m^2]$

Pro vyjádření rychlosti laminárního proudění vody pórovitým prostředím se v praxi užívá Darcyho filtrační zákon, který nám určuje vztah mezi filtrační rychlostí kapaliny a piezometrickým (hydraulickým) gradientem, nebo – li hydraulickým spádem.

$$v = k \cdot i [m \cdot s^{-1}] \quad (9)$$

v – rychlost laminárního proudění vody $[m \cdot s^{-1}]$

k – filtrační součinitel $[-]$

i – hydraulický spád $[-]$

3.2.2 Stlačitelnost

Zatížením základové půdy se mění stav napjatosti, vznikají deformace, které vyvolávají sedání základů. Stlačitelnost je deformace, která se odehrává pouze v jednom směru, nejčastěji ve směru svislém. Důležité jsou znalosti deformačních charakteristik zemin, které určujeme z jednoosé stlačitelnosti v přístroji zvaném edometr, kde boční přetvoření ε_x je rovno nule. Ke stlačení zeminy dochází zmenšením objemu pórů.

Zkouškou stlačitelnosti se zjistí deformace zeminy pod působícím zatížením. Na vzorek je vyvíjen tlak ve svislém směru a zároveň je měřeno posunutí ve svislém směru s časovými intervaly. Zatížení se aplikuje ve 4 až 6 stupních, kdy každé zvýšení napětí je dvojnásobkem předchozího. Výstupem je vztah mezi výsledným stlačením a zatížením, který je znázorněn křivkou stlačitelnosti.

$$E_{oed} = \frac{E_{def}}{\beta} [Pa] \quad (10)$$

E_{def} – modul přetvárnosti [Pa]

β – součinitel vzájemného vztahu E_{def} a E_{oed} [-]

$$\Delta h = \frac{h \cdot \Delta \sigma}{E_{oed}} [m] \quad (11)$$

$\Delta \sigma$ – rozdíl efektivních napětí [Pa]

h – výška vzorku před stlačením [m]

E_{oed} – edometrický modul přetvárnosti [Pa]

3.2.3 Smyková pevnost

Na smykové pevnosti závisí bezpečnost geotechnických konstrukcí, u kterých se řeší stabilita svahu, zemní tlaky, únosnost zemin apod. Je dána jejím odporem proti smykovému napětí. Hlavním vlivem smykové pevnosti je vzájemné působení částic zemin. Aby došlo k porušení smykem, musí dojít ve vzájemném působení částic zemin k napětí, které způsobuje, že mezi částicemi dojde k posunu nebo koulení.

$$\tau = \frac{T}{A} [N \cdot m^{-3}] \quad (12)$$

$$\sigma = \frac{N}{A} [N \cdot m^{-3}] \quad (13)$$

T – smyková síla ve smykové ploše [N]

N – normálová síla ke smykové ploše [N]

A – velikost smykové plochy [m³]

Pro znázornění napjatosti používáme Mohr – Columbovu teorii, u které se předpokládá, že k usmyknutí podél smykové plochy dojde kritickou kombinací normálového a smykového napětí. Charakteristickými parametry jsou úhel vnitřního tření φ a soudržnost c . (Obr. 3)

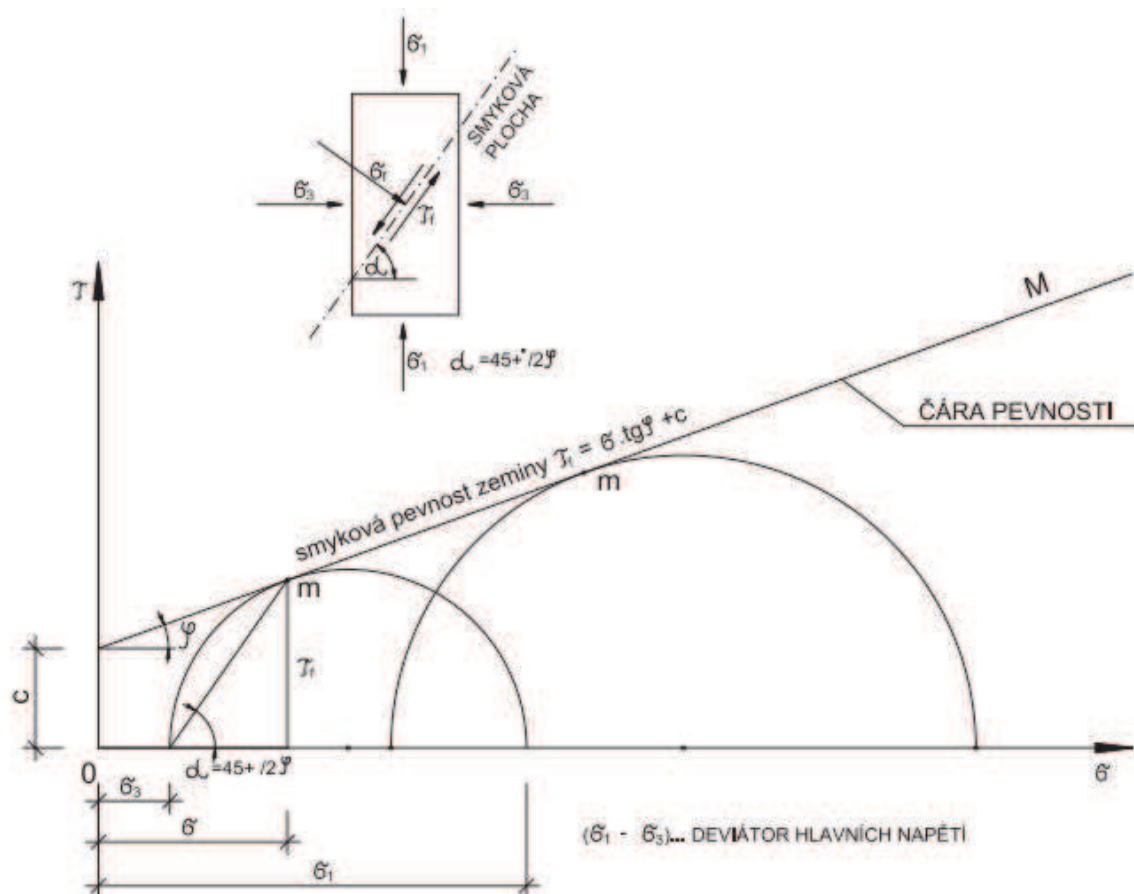
$$\tau = c + \sigma \cdot tg\varphi [Pa] \quad (14)$$

σ – normálové napětí [N·m⁻³]

τ – smykové napětí [N·m⁻³]

φ – úhel vnitřního tření zeminy [°]

c – soudržnost zeminy [Pa]



Obrázek 3: Mohr – Columbovo zobrazení pomocí deviatorů hlavních napětí [zdroj: lances.cz [7]]

V případě zemních tlaků je smyková pevnost popsána efektivními a totálními parametry. Jako první princip efektivních napětí definoval Terzaghi. Zavedl pojem efektivního napětí, jenž je funkcí napětí totálního a pórového. Jelikož voda nepřenáší smykové napětí, tak princip efektivních napětí platí jen pro napětí normálová.

$$\sigma = \sigma_{ef} + u [N \cdot m^{-3}] \quad (15)$$

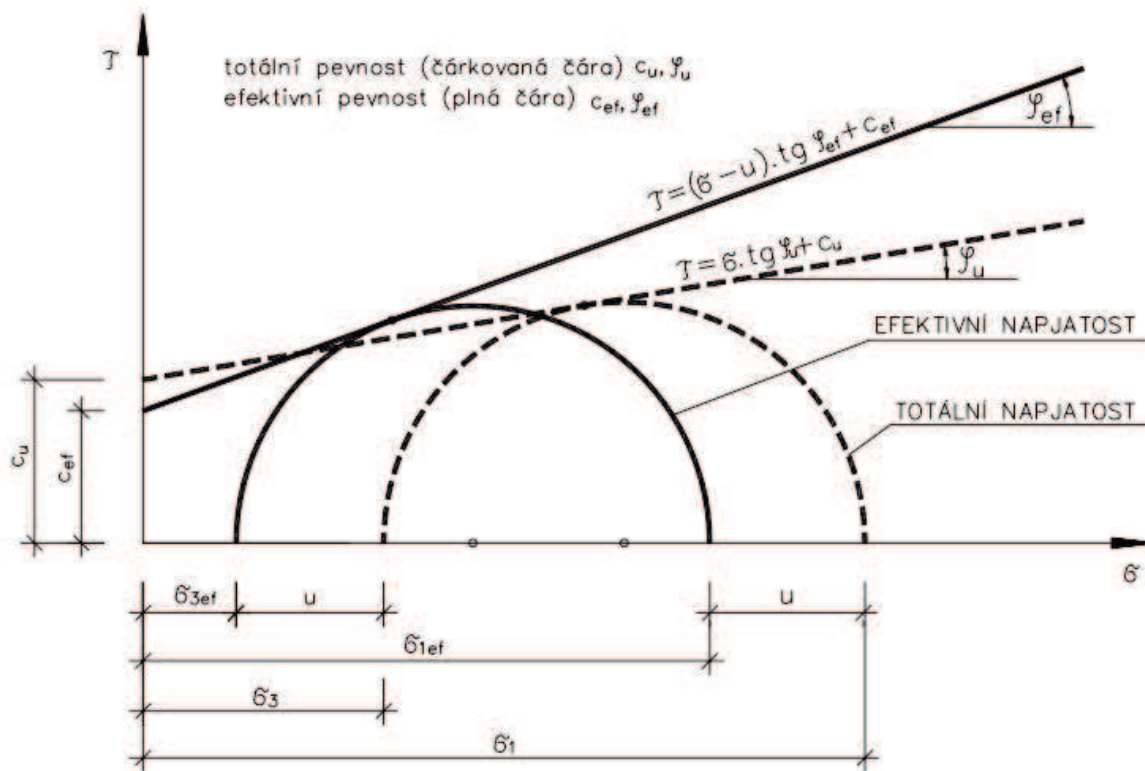
$$\sigma_{ef} = \sigma - u [N \cdot m^{-3}] \quad (16)$$

σ – totální napětí v zemině $[N \cdot m^{-3}]$

σ_{ef} – efektivní napětí v zemině $[N \cdot m^{-3}]$

u – neutrální napětí v zemině $[N \cdot m^{-3}]$

U Mohr – Columbova zobrazení, které je vyneseno totálním a efektivním napětím, je rozdíl oproti zobrazení pomocí deviatorů hlavních napětí ten, že totální a efektivní napětí jsou posunuty o hodnotu neutrálního napětí. (Obr. 4)



Obrázek 4: Mohr- Colombova zobrazení vynesena pomocí totálních a efektivních napětí [zdroj: lances.cz [7]]

Pro stanovení smykové pevnosti soudržných zemin se používá triaxiální přístroj, pro nasyčené jíly se používá prostý tlakový přístroj a pro pevnost nesoudržných i zemin se používá krabicový smykový přístroj.

3.3 Chemické vlastnosti a mineralogické složení

Na základě chemického a mineralogického složení zeminy můžeme určit, jaká zemina je pro daný typ stavby vhodná, podmíněčně vhodná nebo nevhodná. Základní vlastnosti, které zjišťujeme:

- sorpční vlastnosti,
- obsah vápna, uhličitánů, chloridů a síranu
- rozbor vody,
- barva a zápach zeminy,
- obsah minerálů a jejich složení.

Jedna z nejdůležitějších vlastností je rozbor podzemní vody, poněvadž chemické i biologické procesy závisí na vodíkových kationtech a hydroxylových aniontech, které nám mohou ovlivňovat propustnost zeminy. Za pomoci pH stupnice zjistíme kyselost a zásaditost

podzemní vody, která se váže na jemnozrnnou zeminu. Aby hodnota pH u jemnozrnných zemin byla optimální, používá se jako vyrovnávací složka vápno.

Další význam pro zeminy má adsorbční systém, ve kterém může probíhat kationtová výměna, která zapříčiňuje změnu množství vázané vody v zemině a tím mění jejich fyzikální a mechanické vlastnosti.

Neméně příjemná je agresivita podzemních vod. Jelikož podzemní voda není nikdy chemicky čistá, můžeme v ní nacházet uhličitany, chloridy a sírany. Tyto sloučeniny nám mohou způsobovat snížení plasticity, objemovou nestálost, velkou stlačitelnost apod. Podzemní vody rozdělujeme podle obsahu organických látek:

- vody hladové
- vody kyselé
- vody uhličitě
- vody síranové
- vody hořečnaté
- vody alkalické

Co se týče mineralogického složení, zeminy obsahují primární materiály, které mechanicky zvětrávají horninové minerály, a sekundární minerály, jenž chemicky zvětrávají prvotní minerály. Sekundární minerály jsou součástí jílovitých zemin. Řadíme do nich kaolinit, který má schopnost vázat molekuly vody, montmorillonit, jenž může v kontaktu s vodou bobtnat, bentonit, který se používá při technologii zakládání staveb jako husté výplachy při vrtání nebo jako pažící suspenze, a illit, jenž má schopnost vázat na sebe vodu.

4. Laboratorní a polní zkoušky

Předmětem geotechnického průzkumu je znalost fyzikálních, mechanických a chemických znalostí. Tyto hodnoty zjišťujeme jak v laboratořích, tak v terénu. Výsledky všech zkoušek jsou dokumentovány ve zprávě, jež se skládá z textové a popřípadě i z přílohové části, ve které uvádíme grafy nebo tabulky. V textové části nalezneme zejména druh a počet provedených zkoušek spolu s příslušnou normou a předpisem a popis pracovní metodiky.

4.1 Laboratorní zkoušky

4.1.1 Vlhkost zemin

Stanovuje za účelem kontrolního kritéria při laboratorních i polních zkouškách. Je nedílnou součástí u zkoušek jako jsou zařídování zemin, stanovení objemové hmotnosti, Proctrovy zkoušky, okamžitého indexu únosnosti, kalifornského indexu únosnosti a další.

Zkušební pomůcky: vzorek vlhké zeminy písčitého jílu, sušárna, exsikátor, váha, váženky, vysoušecí nádoba, lopatka

Postup zkoušky:

Prvním krokem bylo zvážení suché a čisté vysoušecí nádoby, do které se následně vložil vzorek zeminy, jehož hmotnost se stanovila dle tabulky. Spolu s nádobou se hodnota zaznamenala.

Poté se nádoba se zeminou vložily do sušárny, která měla teplotu $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Po uplynutí 24 hodin se nádoba vyjmula ze sušárny a umístila do exsikátoru, kde se nechala vychladnout na potřebnou teplotu, aby manipulace s ní byla bez problémů.

Na závěr za pomoci váhy byla nádoba se zeminou zvážena a její hodnota zapsána. Za pomoci vzorce se zjistila vlhkost dané zeminy, která je vyjádřena procentuálně.

Průměr zrna D ₉₀ [mm]	Minimální hmotnost zkušebního vzorku o přirozené vlhkosti
1,0	25
2,0	100
4,0	300
16,0	500
31,5	1 500
63,0	5 000

Tabulka 6: Minimální hmotnost zkušebního vzorku

Hodnotu vlhkosti se stanoví dle vzorce (1).

4.1.2 Zrnitost zemin

Granulometrické složení zeminy popisuje rozdělení zrn do jednotlivých frakcí. Provádí se dvěma způsoby, a to oddělením hrubších frakcí prosetím standardizovanou sadou sít pro kamenivo nebo sedimentací pro frakce jemnější.

Zkušební pomůcky: prosévací přístroj, sada sít o velikosti ok 0,063; 0,125; 0,250; 0,500; 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63 mm, voda, nádoba, váha, sušárna, lopatka

Postup zkoušky:

Před samotnou prosévací zkouškou se zkušební vzorek kameniva musel poupravit tzv. praním, aby se snížil obsah jemných částic. Zkušební vzorek se vložil do nádoby, přidalo se dostatečné množství vody, aby byl vzorek zcela ponořený a promíchal se. Pro eliminaci částic menších než 0,063 mm, se vzalo síto o velikosti ok 0,063 mm, na které se nastavily odlehčovací síta o velikosti ok 1 a 2 mm, a vzorek se přeséval a zároveň byl promýván vodou, dokud neodtékala čirá voda. Zůstatek nad sítem 0,063 mm se vysušil v sušárně při teplotě $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, nechal se vychladnout a zvážil se.

Propraný, vysušený a zvážený vzorek kameniva se nasypal na síta, která byla sestavena sestupně do sloupce od velikosti 63 mm až po 0,063 mm. Spodní síto se uzavřelo dnem, horní síto víkem a celá aparatura se připevnila přitlačnou deskou do prosévacího přístroje, jenž se zapnul a mechanickým otřásáním sloupcem sít se vzorek proséval. Po ukončení 10 - ti minutového cyklu se postupně odebírala síta a obsah na nich uložený se zvážil. Zvážil se také vzorek na dně, jenž se označil jako propad. Jakmile se zaznamenaly hodnoty ze všech sít, tak se jednotlivé zůstatky na sítích vyjádřily v procentech k původní

hmotnosti navážky. Dále se sečetly všechna procentuální zastoupení a srovnala se s propranou navážkou. Posledním krokem byl procentuální výpočet jemných částic, které propadly sítím 0,063 mm na dno.

Výsledky zkoušky se znázornily do grafu pomocí křivky zrnitosti.

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (17)$$

M_1 – hmotnost vysušené zkušební navážky [kg]

M_2 – hmotnost proprané a vysušené zkušební navážky nad sítím 0,063 mm [kg]

P – hmotnost propadu jemných částic na dně zkušebních sít [kg]

4.1.3 Proctor standard

Stupeň zhutnění je z velké části závislý na vlhkosti. Aby byla stanovena tzv. optimální vlhkost, při níž dosáhneme pro určitou hutnicí energii největšího zhutnění tzv. maximální objemovou hmotnost suché zeminy - $\rho_{d,max}$, nám slouží Proctorova zkouška. Používá se především pro stavby s menším zatížením, jako jsou silnice, násypy apod.

Zkušební pomůcky: proctrův přístroj, proctorova forma s vnitřními rozměry: \varnothing 100mm a výškou 120mm, nastavovací prstenec, laboratorní váha, keramické váženky, sušárna, nádoba s destilovanou vodou, špachtle, lopatka

Postup zkoušky:

Den předem se připravilo několik vzorků se zeminou, každý se navlhčil na jinou optimální vlhkost se vzrůstající a klesající tendencí, ze kterých se další den prováděly zkušební testy.

Nejprve se změřil a zvážil zhutňovací válec, aby se určil jeho objem. Dále se sestavil zhutňovací válec a nastavovací prstenec, do kterého se postupně přidávaly 3 vrstvy zeminy tak, aby poslední vrstva byla po zhutnění výše než výška zhutňovacího válce, a nechaly se ztuhnout 25 údery pěstí o hmotnosti 2,5 kg padajícího volným pádem z výšky 305 mm. Poté se válec vyjmul, oddělil se nastavovací prstenec, horní povrch zeminy se začistil podle hrany špachtlí a následně se zvážil. Následně se z hutněného válce odebraly 3 vzorky zhutněné zeminy, každý z jiné části válce, jenž se vložily do zvážených keramických misek, aby se stanovila hmotnost, respektive vlhkost, která se zjistí ze známých vztahů po 24 hodinovém sušení v sušárně na $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ a opětovném zvážení samotných vzorků. Zkouška byla opakována se všemi připravenými vzorky.

Výsledky zkoušky se zpracovaly do grafu, kde spojnice získaných bodů vlhkosti a objemové hmotnosti suché zeminy tvořily plynulou křivku, která odpovídá Gaussově křivce, jenž udává optimální vlhkost, při které se dosáhlo maximálního zhutnění.

$$\rho_d = \frac{m_z}{V \cdot (1+w)} [kg \cdot m^{-3}] \quad (18)$$

w – vlhkost zeminy [-]

m_z – hmotnost zeminy ve zkušební formě [kg]

V – objem proctrovy formy [m^3]

4.1.4 Proctor modifikovaný

Podstatou a postupem se tato zkouška moc neliší od proctrovy standardní metody. Rozdíl je v použití, jelikož se nejčastěji používá pro větší dopravní plochy, jako jsou např. letiště, a v použité technologii, kdy místo 2,5 kg pěchu se používá 4,5 kg pěch, místo 3 vrstev se dává vrstev 5 a výška volného pádu pěchu je 450 mm. Vyhodnocení je stejné jako u proctrovy standardní zkoušky.

4.1.5 Kalifornský index únosnosti

Podstatou zkoušky je stanovení vztahu mezi silou, která proniká pístem standardní rychlostí do zkušební tělesa směsi, které je uloženo ve formě, a penetrací.

Zkušební pomůcky: síto 22,4mm, proctrova forma s vnitřními rozměry: Ø 150mm a výškou 120mm, nástavec 51mm, podkladní deska tloušťky 10mm, pěch o hmotnosti 4,5kg, penetrační ocelový trn Ø 50mm, zatěžovací lis s konstantní rychlostí pohybu 1,27mm, přitěžovací prstence, váha, sušička, lopatka, nádoba na zeminu, ocelové pravítko, škrabka

Postup zkoušky:

Pro realizaci zkoušky byl použit vzorek zeminy o známé optimální vlhkosti, jenž se zhutnil v prstenci pomocí modifikované Proctrovy zkoušky.

Nejdříve se nastavila na zatěžovacím lisu rychlost vnikání ocelového trnu na 1,27 mm/min. Následně se připravený vzorek v prstenci umístil opačnou stranou, tzn. původně spodní část vzorku je obnažena a určena ke zkoušení, do středu zatěžovacího lisu. Poté se na vrchní stranu vzorku umístil penetrační trn a pomocí pomalého posuvu se nechal dosednout na vzorek. Nakonec se na lis umístily přitěžovací prstence, jejichž hmotnost byla větší než 4,5 kg, lineární snímač dráhy pro měření zatlačení trnu a započalo se měření. Po spuštění lis

zaznamenával hodnoty síly při zatlačení trnu do zeminy rychlostí 1,27 mm/min o každých 0,5mm. Měření se ukončilo při zatlačení trnu o 10mm.

Pro další měření se musela forma se zeminou zvážit, otočit zkoušenou stranou dolů, připevnit k děrované podkladní desce s filtračním papírem, k horní straně vzorku se vložil filtrační papír s děrovanou horní deskou, na kterou se umístily přitěžovací prstence, a celá forma se ponořila do vody o teplotě $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Na ponořenou formu se připevnilo zařízení pro měření vertikálního bobtnání, provedlo se počáteční čtení bobtnání a nechalo se sytit 96 hodin. Po uplynutí 96 hodin se výsledné bobtnání zapsalo a vypočetlo se výsledné bobtnání jako procento počáteční výšky vzorku.

Dále byla forma vyjmuta z vody, nechala se okapat po dobu 15 min, poté se forma zvážila bez děrovaných desek se závažím a provedl se stejný postup zkoušky na nasyceném vzorku. Posledním krokem bylo odebrání vzorku zeminy ze zkušebního tělesa, který se vložil do váženky o známé hmotnosti a zvážil se. Vzorek se uložil do sušičky s teplotou $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, kde se nechal 24 hodin. Poté se vyjmul, nechal zchladnout na teplotu, která neovlivnila vážení, a zvážil. Pomocí vzorce se zjistila potřebná vlhkost zeminy. (Obr. 5)

Výsledkem zkoušky kalifornského indexu únosnosti se stanovilo číslo v %, které vyjadřovalo poměr síly potřebné k zatlačení trnu konstantní rychlostí do stanovené hloubky vzorku zeminy vůči síle potřebné k zatlačení stejného trnu do stejné hloubky v normovém kamenivu.

Hodnota vlhkosti se stanoví dle vzorce (1).

Hodnota CBR se stanoví dle vzorce:

$$CBR = \frac{F}{F_s} \cdot 100 [\%] \quad (19)$$

F – síla naměřená ve vzorku

F_s – standardní síla pro normové kamenivo

Penetrace [mm]	Standardní síla [kN]
2,5	13,2
5	20

Tabulka 7: Hodnoty standardních sil pro normové kamenivo dle ČSN 73 6185



Obrázek 5: Provedení zkoušky Kalifornského indexu únosnosti

4.1.6 Okamžitý index únosnosti

Je obdobná varianta kalifornského poměru únosnosti s tím rozdílem, že se při zkoušce nepoužívají přitěžovací prstence a vzorek zeminy se nesytí. Důležitou informací je, že IBI se zjišťuje v krátkém časovém úseku po úpravě zeminy. Je – li zemina upravená hydraulickým pojivem, je nutné provést zkoušku do 90 min po smíchání. V případě použití vápna však ne dříve než za 60 min.

4.2 Zkoušky in – situ

4.2.1 Půdní objemový denzitometr

Slouží ke stanovení objemové hmotnosti zeminy v přirozeném uložení a zeminy vysušené u konstrukčních nebo přírodních vrstev zeminy in – situ. Dále se používá k prokázání míry zhutnění posuzované vrstvy porovnáním objemové hmotnosti stanovené denzitometrem in – situ a laboratorním měřením Proctovy standardní zkoušky.

Zkušební pomůcky: půdní objemový denzitometr se základní, spodní a krycí deskou, nádoba s vodou, lopatka, kolíky, nádoba na vzorek

Postup zkoušky:

Na srovnanou horní plochu vrstvy zeminy se umístila základní deska čepy směrem vzhůru a za pomoci kolíku se pevně zakotvila do zeminy. Denzitometr se naplnil 10 litry vody a umístil se na základní desku. Během jeho pokládání se dbalo na to, aby byl píst vytažený do horní polohy, jelikož by membrána mohla vadit v manipulaci a hrozilo by její poškození. Dalším krokem se uvolnil odvzdušňovací ventilu, při kterém tíha vody přitiskla membránu k povrchu měřené vrstvy. Poté se přístroj odvzdušnil pomocí tlaku na rukojeť. Provede se první odečtení referenční hodnoty objemu vody na noniové stupnici.

Dalším krokem se sejmul přístroj ze základové desky a za pomoci lopatky se odebral vzorek zeminy v otvoru základové desky tak, aby vznikla jamka se svislými stěnami hluboká zhruba 20 cm. Stěny jamky se začistily a zbavily ostrých kamenů, aby nedošlo k protržení membrány. Poté se opět denzitometr nasadil na základní desku, uvolnil se ventil pro odvzdušnění a tlakem na rukojeť membrána vyplnila vyhloubenou jamku. Provedlo se druhé odečtení, po kterém se provedlo pro kontrolu ještě jedno odečtení s pootočeným denzitometrem o 180°. Nakonec se vzorek zeminy vyhloubený z jamky odvezl do laboratoře, kde se zvážil, uložil do sušičky s teplotou $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ a nechal se sušit 72 hodin, ve kterých se co 24 hodin zvážil, jelikož vysychání s ohledem na jeho hmotnost by byla problematictější.

Ve výsledku se stanovil objem vyhloubené jamky jako součin vnitřní plochy denzitometru a rozdílu prvního a druhého čtení na stupnici před a po provedení zkoušky. Dále se stanovila objemová hmotnost zeminy v přirozeném uložení a zeminy vysušené.

$$V = (L_2 - L_1) \cdot A[\text{m}^3] \quad (20)$$

L_1 – údaj stupnice před vyhloubením jamky [m]

L_2 – údaj stupnice po vyhloubení jamky [m]

A – plocha pístu [m^2]

Objemová hmotnost zeminy v přirozeném uložení se stanoví dle vzorce (5).

Objemová hmotnost vysušené zeminy se stanoví dle vzorce (18).

4.2.2 Statická zatěžovací zkouška

Účelem zkoušky je přímé ověřování deformačních charakteristik předepsaných dokumentací stavby, jako jsou např. modul přetvárnosti z druhého zatěžovacího cyklu nebo poměr modulů přetvárnosti prvního a druhého zatěžovacího cyklu. Dále se zjišťuje míra

zhutnění sypanin při výstavbě pozemních komunikací, u nichž je problematické použití přímých metod. Smí se provádět na sypaninách hrubozrnných materiálů a jemnozrnných zeminách s tuhou až pevnou konzistencí.

Zkušební pomůcky: kruhová zatěžovací deska \varnothing 300 mm, tenzometrický snímač síly, hydraulický zatěžovací systém, měřicí nosník s jednobodovým snímáním zatlačení, optoelektrický lineární snímač dráhy, měřicí a řídicí mikropočítačová jednotka, protizátěž

Postup zkoušky:

Na začátku se sestavila celá aparatura pro měření v těchto krocích:

1. Osadila se kruhová zatěžovací deska.
2. Osadil se tenzometrický snímač síly.
3. Sestrojil se hydraulický zatěžovací systém, u kterého je nejnižší možná výška protizátěže 520 mm a stabilita je zajištěná pomocí magnetické hlavice.
4. Osazení měřicího nosníku, jenž musí být stabilně umístěn tak, aby během měření bylo eliminováno jeho posunutí nevhodným pohybem obsluhy.
5. Zkompletování celého zařízení, kde se nakonec připojil tenzometrický snímač síly a optoelektrický snímač dráhy s mikropočítačovou jednotkou pomocí kabeláže se speciálními konektory modré a červené barvy, a jeho kontrola. (Obr. 6)

Po kompletním sestavení měřicí aparatury pod protizátěž se přistoupilo k nastavení základních parametrů a započalo se měření. Po spuštění měření byla obsluha vedena příkazy mikropočítačové jednotky. Jediný parametr, který mohla obsluha ovlivnit během měření, byla přítlačná síla lisu, jenž se ovládala pomocí manuální pumpy. Výsledky měření byly tištěny během měření z přiložené tiskárny. (Obr. 7)

Výsledkem měření byla závislost zatlačení desky na napětí, které se nazývá hysterezní smyčka. Na základě této křivky mikropočítačová jednotka dopočetla E_{def1} , E_{def2} a jejich poměr.



Obrázek 6: Měřicí aparatura



Obrázek 7: Hutní válec jako protizátěž

5. Základní charakteristika území

Pro úspěšné založení stavby bylo nutné vypracování veškerých potřebných dokumentací ke stavbě včetně podrobného geotechnického průzkumu. Cílem průzkumu bylo poskytnutí definitivních podkladů pro směrovou i výškovou stabilizaci vybrané trasy a pro umístění jejich hlavních objektů, geotechnické interpretace získaných výsledků a doporučení způsobu založení jednotlivých objektů.

5.1 Morfologické, klimatické a hydrologické poměry

Z hlediska geomorfologického se trasa projektované komunikace nachází v provincii Česká vysočina, konkrétně její subprovincii Krkonošsko – jesenická soustava. Nadmořská výška lokality se pohybuje mezi 239 a 320 m n.m. Reliéf trasy je členitý. V počáteční, jihovýchodní části je terén mírně svažité, lokálně rozčleněný drobnými erozními údolími pravostranných přítoků řeky Porubky. Ve střední části trasa přechází údolní nivou toku Porubka s jejími meandry a v morfologicky vyšší severní a severozápadní části, budované kulmem, reliéf pozvolna stoupá, přičemž i v tomto prostoru je na četných místech rozčleněn erozními depresi drobných recipientů. V širším prostoru údolní nivy Porubky je terén nepřehledný v důsledku lesního porostu, ale v převážné části území s intenzivní zemědělskou činností je přehlednost terénu dobrá.

Dle typologického členění reliéfu se jedná o region plochých pahorkatin kvartérních struktur v oblasti pleistocenního kontinentálního zalednění až region členitých pahorkatin vrásnozlomových struktur České Vysočiny.

Dle klimatické regionalizace leží zájmová lokalita v mírně teplé klimatické oblasti s dlouhým, teplým a mírně suchým létem, s krátkým přechodným obdobím, mírně teplým jarem a podzimem, krátkou, mírně teplou a velmi suchou zimou a krátkým trváním sněhové pokrývky.

Podle hydrogeologického členění spadá širší zájmové území do povodí Odry. Předmětná lokalita trasy je v takřka celé své délce odvodňována tokem 2. řádu Porubka a jejími drobnými levostrannými i pravostrannými přítoky. Recipient Porubka je levobřežním přítokem Odry. Pouze prostor napojení komunikace na ul. Opavskou v severní části trasy je odvodňován recipientem 3. řádu Plesným potokem.

5.2 Rozsah průzkumných prací

5.2.1 Geofyzikální práce

Geofyzikální práce byly provedeny v rámci podrobné etapy průzkumu jako pomocná doplňující metoda v problematických úsecích, v úsecích špatně přístupných pro vrtnou techniku a ve svažitých úsecích.

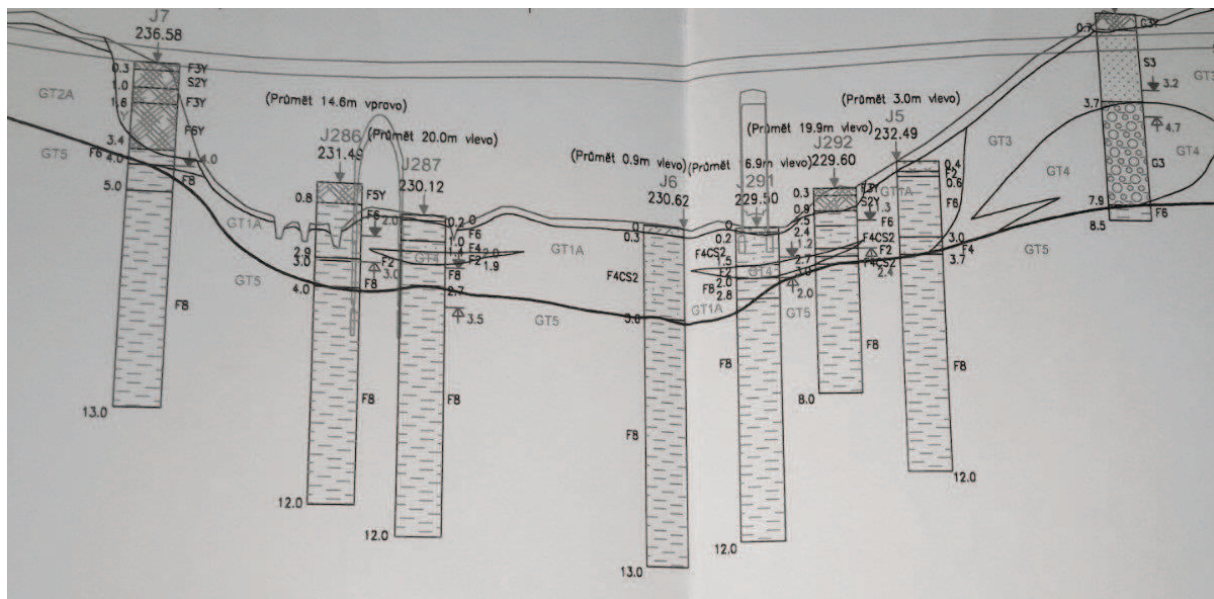
Cílem geofyzikálního průzkumu bylo zejména:

- ověření inženýrskogeologického prostředí a jeho interpolace v intervalech mezi odkryvnými pracemi,
- příspěvek k inženýrskogeologické interpretaci geotechnického průzkumu,
- ověření mělké stavby horninového prostředí v daných profilech a rozlišení jednotlivých typů hornin, včetně jejich klasifikace do tříd těžitelnosti (rozpojitelnosti), resp. pevnosti,
- určení průběhu a stupně zvětrání podloží,
- vytipování potenciálních tektonických poruch.

Uvedené úkoly byly realizovány mělkou refrakční seismikou, která měla za úkol sledovat reliéf pevného podloží a odlišit horniny na základě jejich pevnosti, jenž je přímo závislá na rychlosti seismického signálu, který se v nich šíří, a odporovou metodou vertikálního elektrického sondování, kterým lze zjistit polohy subhorizontálních rozhraní a charakter zemin a hornin z hlediska litologického.

5.2.2 Vrtné práce

V rámci inženýrskogeologického a hydrogeologického průzkumu bylo v prostoru zájmového území projektované trasy silnice realizováno celkem 57 jádrových nezapažených vrtů do hloubky 6,0 až 18,5 m. Celkem bylo odvrtáno 649 m průzkumných nepažených vrtů. Dále byl proveden 1 ks vystrojeného jádrového pozorovacího vrtu o metráži 14,0 m. Po skončení vrtných prací byly vrty likvidovány dusatým záhozem. Vrtné jádra byla umístěna do dřevěných normovaných vzorkovnic a uchovaly se pro supervizi. Při vrtných pracích byla zaznamenávána úroveň naražené hladiny podzemní vody, jež se zaměřovala po 24 hodinách po její ustálené hladině. (Obr. 8)



Obrázek 8: Ukázka provedených vrtů z podélného geologického řezu

5.2.3 Vzorkovací práce

5.2.3.1 Vzorky zemín

Na stanovení fyzikálně – mechanických a přetvárných vlastností bylo celkem odebráno 98 ks neporušených, 48 ks poloporušených, 65 ks porušených a 12 ks technologických vzorků zemín.

Jako porušené vzorky byly označeny vzorky odebrané z nesoudržných zemín, kde bylo možno provést zrnitostní rozbor a stanovení zdánlivé hustoty částic. Poloporušené vzorky měly zachovanou původní vlhkost a kromě zrnitosti a zdánlivé hustoty částic se také zjišťovala objemová hmotnost a provedly se indexové zkoušky. Pro realizaci zkoušek Proctor standard, CBR a provedení zkoušky zeminy zlepšené hašeným vápnem, se používaly vzorky technologické.

5.2.3.2 Vzorky vody

V průběhu vrtných prací se dále odebíraly z vrtů vzorky podzemní vody. Tyto vzorky se odebíraly za účelem zkrácených rozborů pro posouzení agresivity na ocelové a betonové konstrukce. V rámci průzkumných prací v souladu s projektem se odebralo 18 ks vzorků podzemní vody do 2 – litrových a 0,25 – litrových vzorkovnic.

V laboratořích se podzemní voda testovala dle ČSN 038375 – Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi na tvrdost, vodivost, pH a na agresivní sloučeniny.

5.2.4 Kopné práce

S ohledem na průběh inženýrských sítí byly v místech dotčených vrtů a sond provedeny předkopy do hloubky 1,0 – 1,5 m. Kopané sondy sloužily dále k definování úložných poměrů, zjištění stupně zvětrávání a rozpukání horninového masívu. Celkem se provedlo 5 ks kopaných sond.

5.3 Měřičské práce

Všechny vrty a penetrační sondy byly před provedením prací geodeticky vytyčeny. Pro realizaci byla všechna průzkumná díla opět výškově i polohově zaměřena a vynesena do výkresu situace v měřítku 1 : 2 000.

5.4 Výsledky geotechnického průzkumu pro stavební objekt

Na základě závěru geotechnického průzkumu byly navrženy úpravy podloží pod násypy i armované zeminy, úpravy a opatření násypu.

Zejména úpravy typu:

- zlepšení jemnozrnné zeminy vápnem do hloubky 0,5 m (Obr. 9),
- aplikování separační geotextílie na stabilizovanou vrstvu,
- aplikování geomříží na svahové části násypů (Obr. 10),
- použití lomového resp. záhozového kamene jako protierozní opatření,
- zatravnění a osazení keřů a stromků na rekultivovaných svazích násypu,
- k rekultivaci použita vrstva ornice o průměrné mocnosti 0,2 m.



Obrázek 9: Zlepšená jemnozrnná zemina vápnem



Obrázek 10: Geomříže aplikované na násypovém tělese

6. Vlastní zpracování výsledků

Na základě dodaných materiálů v podobě databáze protokolů, kde byly vypsány veškeré provedené zkoušky s výsledky, se vypracovaly tabulky pro dílčí závěrečnou zprávu zhotovitele o hodnocení jakosti díla dle kontrolního zkušebního plánu, ve kterém jsou zadány přípustné hodnoty pro výsledky jednotlivých zkoušek dle ČSN 73 6133 a TP.

Podle typu vrstvy se tabulky rozdělily:

- podloží násypu,
- těleso násypu,
- aktivní zóna a zemní pláň.

6.1 Zpracování dat pro podloží násypu

V podloží násypu se prováděly zkoušky:

- míra zhutnění,
- Proctor standard,
- okamžitý index únosnosti.

Zpracování výsledků a vyhodnocení se provádělo následovně:

1. Vytvořila se tabulka se záhlavím, které obsahovalo konstrukční prvek, množství, druh zkoušky, požadovanou četnost dle KZP, provedeno zkoušek s výsledkem, která se rozdělila na vyhovělo / nevyhovělo a minimální / maximální nebo průměrná hodnota, a požadované hodnoty.
1. Zapsaly se druhy prováděných zkoušek a množství tzn. výměru zkoušené plochy stavby buď v m³, nebo m².
2. Dále se zapsala požadovaná četnost dle KZP, která se odvíjela od daného množství, tzn. míra zhutnění, se měří každých 1 500 m³, tudíž pro 5 800 m³ musí být zkouška provedena minimálně 4 krát, u zhutnitelnosti se zkouška prováděla každých 5 000 m³ a pro okamžitý index únosnosti se zkouška provádí buď jednou denně, nebo každých 10 000 m³.
3. Poté se sečetly provedené zkoušky stejného typu a zapsal se počet vyhověných a nevyhověných dle požadované hodnoty, kterou měly nejméně dosahovat. U zhutnitelnosti není přesně stanovené minimum, jelikož slouží jen pro orientační kontrolu.
4. Posledním bodem se zapsala minima a maxima naměřených hodnot.

6.2 Zpracování dat pro těleso násypu

V tělese násypu se prováděly zkoušky:

- klasifikace zeminy,
- míra zhutnění,
- Proctor standard,
- okamžitý index únosnosti.

Oproti zpracování výsledků v podloží násypu se těleso násypu liší ve zkoušce klasifikace zeminy, kde se akorát zapsala výsledná zemina a jako požadovaná hodnota se uvedla, že tato zemina je pouze podmíněčně vhodná a bude se tedy upravovat dle technologického postupu.

6.3 Zpracování dat pro aktivní zónu a zemní pláň

V aktivní zóně a zemní pláni se prováděly zkoušky:

- klasifikace zeminy,
- míra zhutnění,
- Proctor standard,
- okamžitý index únosnosti,
- měření nerovnosti povrchu příčně a podélně
- statická zatěžovací zkouška

Zpracování dat pro aktivní zónu a zemní pláň se ztotožnilo s předešlými vrstvami ve vyhodnocování klasifikace zeminy, zhutnitelnosti podle proctor standard a okamžitého indexu únosnosti. Ostatní vyhodnocení probíhaly následovně:

1. Pro vyhodnocení míry zhutnění se změnil požadavek na četnost dle KZP a to tak, že měření probíhalo po každých sto metrech běžných a zapisování množství se uvádělo ve staničeních.
2. U měření nerovnosti povrchu příčně se stanovil požadavek dle KZP měření opakovat po 40 běžných metrech a zapisování množství se uvádělo ve staničeních. Podmínka pro vyhovění zkoušky byla stanovena na 15 mm zaznamenané nerovnosti, kterou ani jedno měření nedosáhlo, tudíž všechny zkoušky vyhověly.
3. Naopak u měření nerovnosti povrchu podélně nebyl stanoven požadavek dle KZP, tudíž se měření provádí průběžně, jak uzná zhotovitel za vhodné. Opět se množství

zapisovalo ve staničeních a podmínka pro vyhovění zkoušky byla stanovena na 25 mm zaznamenané nerovnosti. I tato měření všechna vyhověla.

4. Jako poslední se vyhodnocovala statická zatěžovací zkouška a její modul přetvárnosti, který měl požadavek dle KZP měření provádět po 100 metrech běžných u každého dopravního pásu, což znamená pravý a levý jízdní pás. Celkem se provedly 4 měření a požadavek na vyhovění byl stanoven na min. hodnotu 60 MPa, který byl u všech zkoušek překonán.

Konstrukční prvek	Množství	Druh zkoušky	Požadovaná četnost dle KZP	Provedeno zkoušek s výsledkem		Požadované hodnoty
				vyhov./ nevyhov.	min./ max./ popř. Ø	
podloží násypu – zemina upravená	5800 m ³	míra zhutnění dle obj.hm. 1x1500m ³	4	4/0	99,1/ 107,8/ -	min. 92% PS
		zhutnitelnost PS	1	4/0	-	-
		IBI 1x denně	1	2/0	19/ 26/ -	min. 10%

Tabulka 8: Zpracování dat pro podloží násypu

Konstrukční prvek	Množství	Druh zkoušky	Požadovaná četnost dle KZP	Provedeno zkoušek s výsledkem		Požadované hodnoty
				vyhov./ nevyhov.	min./ max./ popř. Ø	
těleso násypu – zemina upravená v tl. 0,5 m	58300 m ³	klasifikace – zrnitost, vlhkost, IBI – neupravená zemina	1	0/1	F6 Cl	podmínečně vhodná do násypu
		míra zhutnění dle obj.hm. 1x1500m ³	39	39/0	97,1/ 111,7/ -	min. 92% PS
		zhutnitelnost PS	13	13/0	-	-
		IBI 1x denně	18	18/0	21/ 40/ -	min. 10%

Tabulka 9: Zpracování dat pro těleso násypu

Konstrukční prvek	Množství	Druh zkoušky	Požadovaná četnost dle KZP	Provedeno zkoušek s výsledkem		Požadované hodnoty
				vyhov./ nevyhov.	min./ max./ popř. Ø	
aktivní zóna a zemní pláň – zemina upravená.	10500 m ³	klasifikace - zrnitost, vlhkost, IBI – neupravená zemina	1	1/0	F6 Cl	vyhovující pro úpravu
		zhutnitelnost PS	3	5/0	-	-
		IBI 1x denně	2	3/1	26/ 35/ -	min. 26%
	km 16,050 – 16,140	míra zhutnění 1x100 m	7	7/0	101,7/ 104,6/ -	min. 100% PS
	Km 16,542 – 16,280	nerovnost povrchu – příčná	14	14/0	max. 13 mm	max. 15 mm
		nerovnost povrchu – podélná	průběžně	průběžně/ 0	max. 25 mm	max. 25 mm
	Km 16,060 – 16,250	modul přetvárnosti – SZZ 1x100 m dopravního pásu	4	4/0	88,4/ 188,4/ -	min. 60 MPa

Tabulka 10: Zpracování dat pro aktivní zónu a zemní pláň

7. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zhodnocení dat laboratorních a polních zkoušek na základě Kontrolního zkušebního plánu a Metodického pokynu z Ředitelství silnic a dálnic České republiky. Práce obsahuje identifikační údaje stavby, vlastnosti zemin, laboratorní a polní zkoušky, základní charakteristiku stavby a vlastní zpracování dat v podobě tabulek.

Před samotným vypracováním veškeré charakteristiky k stavbě silnice I/11, Prodloužená Rudná – hranice okresu Opava předcházelo seznámení se s danou lokalitou v terénu, vyzkoušením veškerých zkoušek provedených na násypovém tělese a laboratorním zpracováním a vyhodnocením vstupujících a vystupujících údajů.

V rámci vyhodnocení dat byly vyhotoveny tři tabulky podle typu podloží. Všechny tabulky obsahují konstrukční prvek, množství, požadovanou četnost dle KZP, provedené zkoušky s výsledkem, na které se váže rozdělení, zda zkouška vyhoví či nevyhoví a minimální a maximální hodnota z měřených zkoušek, a jako poslední požadované hodnoty pro jednotlivé zkoušky. Na základě zpracovaných dat se vyhodnocuje technologický postup následujících prací na daném objektu. Vyhodnocení dat se také použije do dílčí závěrečné zprávy zhotovitele o hodnocení jakosti díla pro stavbu silnice I/11, Prodloužená Rudná – hranice okresu Opava.

V práci jsou používány platné normy a legislativa.

8. Seznam použitých zdrojů a literatury

8.1 Normy

- [1] ČSN 72 1006 – *Kontrola zhutnění zemin a sypanin*; Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015
- [2] ČSN 72 1007 – *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 1*; Praha: Český normalizační institut, 2005
- [3] ČSN 72 1007 – *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 4*; Praha: Český normalizační institut, 2005
- [4] ČSN 73 6133 – *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*; Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010
- [5] ČSN 73 6185 – *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 47*; Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012

8.2 Zdroje z internetu

- [6] URL: <<http://www.msstavby.cz/mokre-lazce-2015-a-prodlouzena-rudna-2017-19-03-2012/>> [online]
- [7] URL: <<http://1url.cz/stKmv>> [online]
- [8] URL: <<http://1url.cz/8tKmO>> [online]
- [9] URL: <<http://1url.cz/9tKm5>> [online]
- [10] URL: <<http://1url.cz/utKm9>> [online]
- [11] URL: <<http://1url.cz/QtKmc>> [online]
- [12] URL: <<http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2011/10/prednaska-4.pdf>> [online]
- [13] URL: <<http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/MHZ-cviko-04.pdf>> [online]
- [14] URL: <<http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2009/01/zhut-rezim-kompatibility.pdf>> [online]

- [15] URL:
<http://dk.spsopava.cz:8080/docs/pdf/stavebni_laborator/cviceni/08_stanoveni_zrnitosti_kameniva_sitovy_rozbor.pdf> [online]
- [16] URL: <<http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/denzitometr.pdf>> [online]

9. Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení složek podle velikosti zrn	7
Tabulka 2: Rozdělení výchozích skupin zemin.....	7
Tabulka 3: Průměrné hodnoty hustoty pevných částic.....	9
Tabulka 4: Plasticita zemin dle ČSN 73 6133.....	10
Tabulka 5: Konzistence zemin dle ČSN 73 6133	10
Tabulka 6: Minimální hmotnost zkušební vzorku.....	17
Tabulka 7: Hodnoty standardních sil pro normové kamenivo dle ČSN 73 6185	20
Tabulka 8: Zpracování dat pro podloží násypu.....	33
Tabulka 9: Zpracování dat pro těleso násypu	33
Tabulka 10: Zpracování dat pro aktivní zónu a zemní pláň	34

10. Seznam obrázků

Obrázek 1: Situace stavby [zdroj: msstavby.cz[6]].....	5
Obrázek 2: Křivka zrnitosti dle ČSN 72 1007	8
Obrázek 3: Mohr – Columbovo zobrazení pomocí deviátorů hlavních napětí [zdroj: lances.cz [7]].....	13
Obrázek 4: Mohr- Colombova zobrazení vynesena pomocí totálních a efektivních napětí[zdroj: lances.cz [7]].....	14
Obrázek 5: Provedení zkoušky Kalifornského indexu únosnosti.....	21
Obrázek 6: Měřicí aparatura.....	24
Obrázek 7: Hutnicí válec jako protizátěž	24
Obrázek 8: Ukázka provedených vrtů z podélného geologického řezu	27
Obrázek 9: Zlepšená jemnozrnná zemina vápnem.....	29
Obrázek 10: Geomříže aplikované na násypovém tělese.....	29

11. Seznam vzorců

- Vzorec (1) Vlhkosti zeminy
- Vzorec (2) Číslo nestejnozrnitosti
- Vzorec (3) Číslo křivosti
- Vzorec (4) Hustota pevných částic
- Vzorec (5) Objemová hmotnost zeminy v přirozeném uožení
- Vzorec (6) Index plasticity
- Vzorec (7) Index konzistence
- Vzorec (8) Rychlost průsaku vody v zemině
- Vzorec (9) Rychlost laminárního proudění
- Vzorec (10) Edometrický modul přetvárnosti
- Vzorec (11) Celkové stlačení zeminy
- Vzorec (12) Smykové (tangenciální) napětí
- Vzorec (13) Normálové napětí
- Vzorec (14) Smyková pevnost
- Vzorec (15) Totální napětí v zemině
- Vzorec (16) Efektivní napětí v zemině
- Vzorec (17) Procentuální výpočet propadu jemných částic na dně prosévacího přístroje
- Vzorec (18) Objemová hmotnost vysušené zeminy
- Vzorec (19) Kalifornský index únosnosti
- Vzorec (20) Objem vyhloubené jamky