

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2021

Bc. Jan Hudek Dipl.tech.

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Problematiky objemových změn zlepšených zemin na vybrané lokalitě
Diplomová práce

2021

Bc. Jan Hudek Dipl.tech.

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Hudek, Dipl.tech.**
Osobní číslo: **D18510**
Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní stavitelství**
Téma práce: **Problematiky objemových změn zlepšených zemin na vybrané lokalitě**
Zadávací katedra: **Katedra dopravního stavitelství**

Zásady pro vypracování

Diplomová práce se zabývá problematikou poruch zpevněných ploch z důvodu objemových změn zemin v lokalitě Mladá Boleslav – Plazy. Práce bude obsahovat následující členění kapitol:

1. Vlastnosti zemin a problematika objemových změn.
2. Poruchy zpevněných ploch v důsledku objemových změn.
3. Metodika a rozsah průzkumných prací.
4. Archivní rešerše.
5. Laboratorní zkoušky a vyhodnocení.
6. Způsoby sanace.
7. Zhodnocení navrženého řešení.
8. Závěr.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

ČSN P 73 1005 Inženýrskogeologický průzkum
ČSN EN ISO 14689-1 Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování hornin
Část 1: Pojmenování a popis
ČSN EN ISO 14688-1 Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování zemin
Část 1: Pojmenování a popis
ČSN EN ISO 14688-2 Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování hornin
Část 2: Zásady pro zařizování
ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací
ČSN EN 14227 Směsi stmelené hydraulickými pojivy
ČSN 72 1191 Zkoušení míry namrzavosti zemin
ČSN EN 206-1 Beton – část 1 : Specifikace, vlastnosti, výroba
TP 94 Úprava zemin
Gipskeuper: Baugrundrisiken durch die Bildung von Ettringit-Thaumasit; Keller, P
Mineralogische Untersuchungen an Ettringit-Thaumasit-Mischkristallen aus Sohlhebungen in sulfathal-
tigen Auffüllungen; Rinderknecht, J.
Untersuchungsergebnisse von Baugrundrisiken durch die Bildung von Ettringit-Thaumasit in sulfathal-
tigen Sedimenten; Mosthof, A.
Forschung in Angewandter Mineralogie. Tonmineralogie zur Lösung ingenieurgeologischer Probleme.
Keller, P.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.**
Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání diplomové práce: **1. října 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **31. ledna 2022**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. října 2019

Prohlašuji:

Práci s názvem Problematiky objemových změn zlepšených zemin na vybrané lokalitě jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 07.10. 2021

Jan Hudek v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Aleši Šmejdovi, Ph.D., za cenné rady a připomínky při zpracování této práce.

ANOTACE

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku poruch zpevněných ploch působením objemových změn jílovitých zemin s obsahem sádrovců v lokalitě Mladá Boleslav - Plazy. Úvodní část práce popisuje základní vlastnosti zemin pro stavby pozemních komunikací a poskytuje úvod do provádění úprav zemin hydraulickými pojivy. Následná část je zaměřena na problematiku poruch zpevněných ploch a návrh jejich sanace v lokalitě Mladá Boleslav - Plazy.

KLÍČOVÁ SLOVA

jílovité zeminy, zlepšení zemin, sádrovec, ettringit, thaumasit, objemové změny

TITLE

Problems of volumetric changes of improved soils at a selected site

ANNOTATION

This thesis is focused on the problem of failures of paved surfaces due to volume changes of clay soils with gypsum content in the locality of Mladá Boleslav - Plazy. The introductory part of the thesis describes the basic properties of soils for road construction and provides an introduction to the implementation of soil treatment with hydraulic binders. The subsequent part is focused on the problem of failures of paved surfaces and the proposal of their rehabilitation in the locality of Mladá Boleslav - Plazy.

KEYWORDS

Clayey soils, soil improvement, gypsum, ettringite, thaumasite, volume changes

OBSAH

OBSAH.....	8
SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK	10
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK.....	12
TERMINOLOGIE.....	13
ÚVOD.....	14
1. Zeminy	15
1.1. Základní vlastnosti zemin.....	15
1.1.1. Popisné fyzikální vlastnosti zemin	15
1.1.2. Plasticita a konzistence jemnozrnných zemin.....	17
2. Úprava zemin	19
2.1. Úprava zemin pojivem	20
2.2. Návrh a vhodnost úpravy zemin.....	20
2.3. Technologie provádění.....	21
2.4. Průkazní a kontrolní zkoušky.....	21
3. Objemové změny jílovitých zemin.....	24
3.1. Sádrovec.....	25
3.2. Ettringit.....	28
3.2.1. Tvorba ettringitu v zemině stabilizované pojivy s obsahem síranů	29
3.2.2. Zemina a podzemní voda jako zdroj síranů.....	31
3.2.3. Tvorba ettringitu hlinitany z jílových minerálů.....	32
3.2.4. In situ bobtnavá roztažnost směsí zeminy a pojiva.....	32
3.3. Thaumazit.....	34
4. Poruchy zpevněných ploch v lokalitě Mladá Boleslav - Plazy	35
4.1. Popis území a rozsah poruch.....	35
4.2. Všeobecné přírodní poměry zájmového území.....	35
4.2.1. Geomorfologické, hydrologické a klimatické poměry.....	35
4.2.2. Geologické a hydrogeologické poměry.....	36
4.3. Archivní rešerše.....	37
4.3.1. Geologická prozkoumanost zájmového území.....	37
4.3.2. Výsledky archivních průzkumných prací a posudků	37
4.3.3. Souhrn průzkumných vrtů lokality	40
4.3.4. Provedené laboratorní práce	41
4.3.5. Geomechanické a geotechnické rozborů a zkoušky zemin	42
4.3.6. Chemické a mineralogické analýzy zemin	43

4.3.7.	Chemické rozbory podzemní vody	44
4.3.8.	Hydrogeologické práce a monitoring	44
4.4.	Výsledky průzkumných prací.....	44
4.4.1.	Inženýrskogeologické poměry	44
4.4.2.	Charakteristika geotechnických typů zemin a hornin	48
4.4.3.	Geotechnické vlastnosti zemin a hornin.....	59
1.1.1.	Výsledky zkoušek pro návrh zlepšení zemin.....	64
4.4.4.	Výsledky chemických a mineralogických analýz zemin	68
4.4.5.	Hydrogeologické poměry a HG monitoring	70
4.4.6.	Předběžný návrh úpravy zemin.....	72
5.	Praktická část - Návrh úpravy zemin pro komunikace a zpevněné plochy rozšíření areálu Mladá Boleslav – Plazy	73
5.1.	Výběr materiálu a místa pro vzorkování	73
5.2.	Provádění průkazných zkoušek	79
5.3.	Proctor standard	79
5.3.1.	Postup zkoušky	80
5.4.	CBR - Kalifornský poměr únosnosti	83
5.4.1.	Postup zkoušky	83
5.5.	Pevnost v jednoosém tlaku	87
5.6.	Návrh úpravy a provádění nových zpevněných ploch a sanace stávajících zpevněných ploch.....	88
5.7.	Ekonomické zhodnocení návrhů.....	90
5.8.	Vyhodnocení konečného návrhu úpravy aktivní zóny hydraulickým pojivem	92
	DISKUZE	95
	ZÁVĚR	96
	PŘÍLOHY	100

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: Křivka zrnitosti.....	16
Obrázek 2: Diagram plasticity pro částičky menší než 0,5 mm.....	18
Obrázek 3: Sádrovec – krystaly (Müllauer, 2009, 16)	25
Obrázek 4: Štěpení krystalu sádrovce (Tröger, 1969, 268).....	26
Obrázek 5: Krystaly sádrovce - Naica, Mexiko	27
Obrázek 6: Ettringit – krystaly (Müllauer, 2009, 24).....	28
Obrázek 7: Thaumazit – krystaly (Müllauer, 2009, 32)	34
Obrázek 8: Zrnitostní křivky deluviálních, deluvio-eluviálních a eluviálních zemin.....	46
Obrázek 9: zrnitostní křivky, deluvio-fluviálních a fluviálních zemin	47
Obrázek 10: Výsledky zkoušky volného bobtnání nezlepšených zemin.....	63
Obrázek 11: Výsledky zkoušky volného bobtnání zlepšených zemin – orientační měření	66
Obrázek 12: Výsledky zkoušky volného bobtnání zlepšených zemin – přesné měření.....	67
Obrázek 13: Kopaná sonda pro odběr vzorku zeminy	74
Obrázek 14: Geotechnické zařazení odebraného vzorku jílovité zeminy.....	75
Obrázek 15: Geotechnické zařazení štěrkopísku.....	76
Obrázek 16: Geotechnické zařazení směsi jílu F8 CH a štěrkopísku G3 G-F.....	77
Obrázek 17: Vhodnost zemin pro pozemní komunikace	78
Obrázek 18: Křivky zrnitosti zemin a jejich směsí	78
Obrázek 19: Proctor standard - směs zeminy a Georoad 7%	81
Obrázek 20: Proctor standard - směs zeminy a CEM III/B 32,5 N-LH/SR 6%	82
Obrázek 21: Automatická měřicí aparatura.....	83
Obrázek 22: Stanovení poměru únosnosti zemin CBR - směs + 7% Georoad.....	85
Obrázek 23: Stanovení poměru únosnosti zemin CBR - směs + 6% CEM III 32,5	86
Obrázek 24: Pevnost v jednoosém tlaku po 7 dnech zrání	87
Obrázek 25: Situace s vymezením ploch pro sanaci aktivní zóny komunikací a zpevněných ploch	88
Obrázek 26: Schéma provedení sanace aktivní zóny	89
Obrázek 27: Ilustrace postupu provádění úpravy aktivní zóny	93
Tabulka 1: Rozdělení podle velikosti částic dle ČSN 73 6133.....	16
Tabulka 2: Použitelnost zemin pro stavbu zemního tělesa	19
Tabulka 3: Vhodnost zemin pro pozemní komunikace.....	20
Tabulka 4: Průkazní zkoušky neupravených zemin.....	22
Tabulka 5: Průkazní zkoušky upravených zemin	23
Tabulka 6:Kontrolní zkoušky při provádění a po dokončení zemního tělesa - zeminy upravené	23
Tabulka 7: Zkoušky na zemní pláni navíc pro zeminy upravené a neupravené	24
Tabulka 8: Kontrolní zkoušky při úpravě zemin pojivy.....	24
Tabulka 9: Nejdůležitější chemické vlastnosti Ettringit.....	29
Tabulka 10: Zvětšení objemu při tvorbě Ettringitu ze sloučenin chudých na sírany ve vytvrzené cementové pastě. Kontakt s vodou a sírany (Müllauer, 2009, 134).....	30
Tabulka 11: SO ₄ ²⁻ Klasifikace chemického prostředí (ČSN EN 206-1)	31
Tabulka 12: výsledky měření z literatury (Stark, 2009, 121)	33
Tabulka 13: Přehled provedených průzkumných vrtů	41

Tabulka 14: Přehled vzorků a provedených laboratorních zkoušek, analýz a rozborů.....	42
Tabulka 15: Přehled vyčleněných geotechnických typů zemin a hornin	49
Tabulka 16: Přehled průzkumných vrtů se základními údaji o výskytu geotechnických typů (s vyznačením vrtů na porušených komunikacích a zpevněných plochách	58
Tabulka 17: Doporučené charakteristické hodnoty fyzikálních a geomechanických parametrů zemin a hornin.....	59
Tabulka 18 - Přehled výsledku základních klasifikačních rozborů zemin (místo poruchy HV 14).....	60
Tabulka 19 - Výsledky zkoušek stlačitelnosti a bobtnacího tlaku v edometru.....	61
Tabulka 20: Výsledky zkoušky zhutnitelnosti Proctor standard.....	61
Tabulka 21: Výsledky zkoušky únosnosti CBR nezlepšených zemin	62
Tabulka 22: Přehled geotechnických a technologických vlastností zemin a hornin.....	64
Tabulka 23: Výsledky zkoušky únosnosti CBR zlepšených zemin	65
Tabulka 24: Výsledky bobtnacího tlaku v edometru zlepšených zemin	67
Tabulka 25: Výsledky zkoušky namrzavosti zlepšených zemin.....	68
Tabulka 26: Výsledky chemických rozborů zemin.....	68
Tabulka 27: Výsledky kvantitativní fázové analýzy zemin.....	69
Tabulka 28: Výsledky silikátových analýz zemin	70
Tabulka 29: Přehled průzkumných vrtů se základními údaji o podzemní vodě	71
Tabulka 30: Výsledky chemických rozborů podzemní vody	72
Tabulka 31: Rozměry nových moždířů dle ČSN EN 13286-2	79
Tabulka 32: Přehled metod přípravy vzorku dle ČSN EN 13286-2	79
Tabulka 33: Doporučené rozmístění úderů pěchem.....	80
Tabulka 34: Cenová nabídka ZBA GeoTech stabilizace podloží Georoad.....	91
Tabulka 35: Cenová nabídka ZBA GeoTech stabilizace podloží CEM III/B 32,5 N-LH/SR..	91
Tabulka 36: Celková cena za provedení úpravy zemin hydraulickým pojivem CEM III/B 32,5 N-LH/SR.....	92

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

CBR	- kalifornský poměr únosnosti
C_C	- součinitel křivosti křivky zrnitosti
C_c	- číslo stlačitelnosti
C_U	- číslo nestejnozrnnosti
C_u	- neodvodněná smyková pevnost
$d_{10, 30, 60}$	- průměr zrna odpovídající na křivce zrnitosti propadu 10%, 30%, 60%
e	- číslo pórovitosti
E_{def}	- modul přetvárnosti
E_f	- edometrický deformační modul
f	- obsah jemných částic
IBI	- okamžitý index únosnosti
I_C	- stupeň konzistence
I_D	- relativní ulehlost
I_L	- stupeň tekutosti
I_P	- číslo plasticity
n	- pórovitost
pH	- vodíkový exponent
PS	- Proctor standard
W	- vlhkost
W_L	- mez tekutosti
W_n	- přirozená vlhkost
W_{opt}	- optimální vlhkost stanovena zkouškou Proctor standard
W_P	- mez plasticity
ρ_d	- objemová hmotnost vysušené zeminy
ρ_n	- objemová hmotnost
ρ_s	- zdánlivá hustota pevných částic
ϕ_{ef}	- smyková pevnost

TERMINOLOGIE

Al_2O_3	oxid hlinitý
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	hydroxid vápenatý
CaCO_3	uhličitan vápenatý
CaO	oxid vápenatý (pálené vápno)
CaSiO_3	křemičitan vápenatý
CaSO_4	síran vápenatý
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	dihydrát síranu vápenatého (sádrovec)
Cr	chrom
C-S-H	hydrosilikáty
Fe	železo
H_2O	voda
K_2SO_4	síran draselný
MgSO_4	síran hořečnatý
Na	sodík
Na_2SO_4	síran sodný
OH^-	hydroxid
Si	křemík
TKP	technické kvalitativní podmínky
TP	technické podmínky

ÚVOD

Zlepšování zemních těles silnic, dálnic, pozemních komunikací, zpevněných a manipulačních ploch a jiných za pomoci hydraulických pojiv je v dnešní době nejběžnější a ve většině případů nejekonomičtější varianta, jak v dané lokalitě získat zeminy vhodné do násypů a aktivních zón komunikací bez jejich kompletní výměny.

V mé diplomové práci se věnuji důvodům vzniku poruch zpevněných ploch a komunikací v lokalitě Mladá Boleslav – Plazy, a to z důvodů objemových změn jílovitých zemin s obsahem sádrovce. Popisuji pravděpodobnou příčinu objemových změn a chyby při přípravě a realizaci stavby samotné.

Dále se zabývám vhodným návrhem sanace zemních plání v této lokalitě z hlediska funkčního a ekonomického provedení.

1. Zeminy

Zeminou rozumíme v mechanice zemin veškeré hmoty pokryvných útvarů. Prof. Myslivec definoval zeminu jako směs zrn pevné horniny, vody, vzduchu, organických látek a jiných přímísenin. Zeminy vznikly z hornin jejich zvětráváním a rozpadnutím působením vzduchu, vody a změnami teploty. Zemina vzniklá tímto procesem buď zůstala na místě nebo byla přemístěna vodou, větrem nebo ledovci.

Zrna tvořící zeminy nejsou stejnorodá, liší se nejen velikostí, původem, ale také chemickým složením. Mechanické vlastnosti, jakož i úložné poměry částic tvořících zeminy jsou odlišné. Jiné jsou v tzv. rostlém stavu, kdy jejich ulehlost odpovídá působícímu napětí, nebo jsou ve stavu rozrušeném (stav nakypřený), kdy jsou zeminy vykopávkou rozpojeny a mají menší ulehlost.

1.1. Základní vlastnosti zemin

Zemina je složena z pevných částic a pórů, které jsou buď částečně nebo úplně vyplněny vodou tzv. trojfázové složení zeminy. Tyto fáze se vzájemně ovlivňují, což má vliv na výsledné mechanicko-fyzikální vlastnosti zeminy.

Základní klasifikaci zemin uvádí ČSN EN ISO 14688-1 – Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařídování zemin – Část 1: Pojmenování a popis.

Klasifikaci a vlastnosti zemin pro dopravní stavby definuje ČSN 73 6133 – Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací.

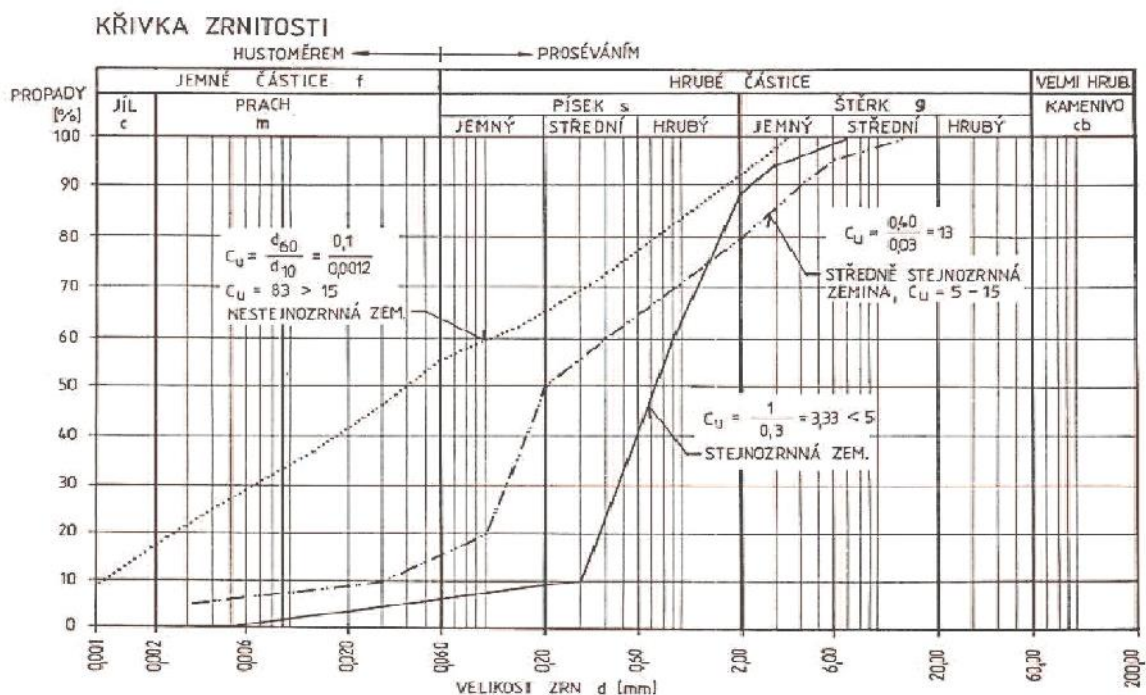
1.1.1. Popisné fyzikální vlastnosti zemin

Zrnitost zemin neboli zrnitostní složení udává hmotnostní roztrídění zeminy podle velikosti jednotlivých zrn. Používá se pro pojmenování a zařídění zemin.

Zrnitost se určuje zkouškou zrnitosti, která se provádí dvěma způsoby:

- Zrnitost u zrn většího průměru než 0,06mm se získává proséváním na sítích
- Zrnitost do velikosti zrn 0,06mm se provádí hustoměrnou metodou

Výsledkem měření je křivka zrnitosti - Obrázek 1. Na křivce zrnitosti se určují charakteristické průměry zrn d_{10} , d_{30} , d_{60} . Jsou to průměry zrn odpovídající propadu na sítu (křivce zrnitosti) 10 %, 30 %, 60 %. Zrno d_{10} je považováno za efektivní zrno.



Obrázek 1: Křivka zrnitosti

Podle velikosti částic se rozlišují jednotlivé složky podle Tabulka 1.

Částice	Popis	Označení	Rozsah
Velmi hrubé	balvanitá složka	b	>200 mm
	kamenitá složka	cb	60 mm až 200 mm
Hrubé	šterková 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 0,006 mm
	jílovitá složka	c	<0,002 mm

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

Tabulka 1: Rozdělení podle velikosti částic dle ČSN 73 6133

Číslo nestejnozrnnosti C_u

Popisuje zeminy z hlediska rozložení frakcí na křivce zrnitosti.

$$C_u = d_{60} / d_{10}$$

d_{60} - průměr zrna odpovídající 60% podílu hmotnosti na křivce zrnitosti

d_{10} - průměr zrna odpovídající 10% podílu hmotnosti na křivce zrnitosti

- $C_u < 5$ zemina stejnozrnná
- $C_u = 5 - 15$ zemina středně nestejnozrnná
- $C_u > 15$ zemina nestejnozrnná

Součinitel (číslo) křivosti C_c

Popisuje křivost křivky zrnitosti. Je doplňkovou charakteristikou na posuzování zrnitosti hrubozrnných zemin

$$C_c = (d_{30})^2 / (d_{10} \cdot d_{60})$$

Objemová hmotnost přirozeně vlhké zeminy ρ

Objemová hmotnost zeminy ρ je vyjádřena jako poměr hmotnosti a celkového objemu přirozeně vlhkého vzorku.

$$\rho = m / V \quad [\text{kg/m}^3]$$

m – hmotnost přirozeně vlhké zeminy [kg],

V – objem přirozeně vlhké zeminy [m³]

Objemová hmotnost vysušené zeminy ρ_d

Objemová hmotnost vysušené zeminy ρ_d je vyjádřena jako poměr hmotnosti vysušeného vzorku při teplotě 105–110°C a celkového objemu přirozeně vlhkého vzorku.

$$\rho_d = m_d / V \quad [\text{kg/m}^3]$$

m_d – hmotnost vysušené zeminy [kg]

Pórovitost n

Pórovitost je definována poměrem pórů V_p a celkového objemu V .

$$n = V_p / V$$

Číslo pórovitosti e

Číslo pórovitosti má podobnou charakteristiku jako pórovitost. Dané je však poměrem objemu pórů V_p a objemu tvrdých částic ($V - V_p$).

$$e = V_p / (V - V_p)$$

1.1.2. Plasticita a konzistence jemnozrnných zemin

Vlhkost W

Hmotnost vody, která může být ze zeminy odstraněna obvykle za pomoci vysušení.

Vyjádřeno v % jako procento suché hmotnosti zeminy.

$$W = m_w / m_d \cdot 100 \quad [\%]$$

Mez tekutosti W_L

Vlhkost, při které jemnozrnná zemina přechází z tekutého do plastického stavu.

Mez plasticity W_P

Vlhkost, při které je jemnozrnná zemina natolik vysušená, že ztrácí svoji plasticitu.

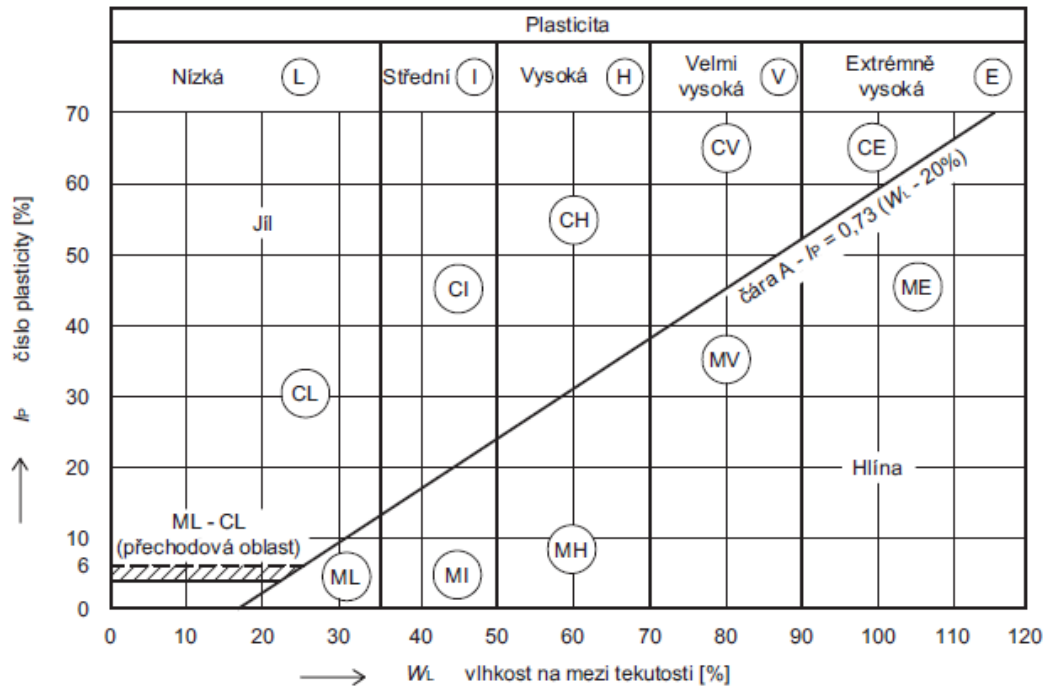
Číslo plasticity I_p

Je dáno rozdílem mezních vlhkostí

$$I_p = W_L - W_P$$

Jílovité a hlinité zeminy lze rozlišit podle diagramu plasticity pro částice menší než 0,5mm.

Podle ČSN 736133 Obrázek 2: *Diagram plasticity pro částičky menší než 0,5 mm.*



Obrázek 2: Diagram plasticity pro částičky menší než 0,5 mm

Stupeň konzistence I_c

$$I_c = (W_L - W) / (W_L - W_P) \quad [\%]$$

- $I_c > 1$ konzistence pevná až tvrdá
- $I_c = 0,5$ až 1 konzistence tuhá
- $I_c = 0,05$ až 0,5 konzistence měkká
- $I_c < 0,05$ konzistence kašovitá až tekutá

2. Úprava zemin

Zeminy svým objemem představují v dopravních stavbách obvykle největší kubatury zpracovávaných materiálů, proto se snažíme v mnohých případech jejich vlastnosti zlepšit a upravit.

Zásady pro úpravu zemin pro využití v zemních tělesech a aktivních zónách pozemních komunikací stanovují technické podmínky TP 94.

Podle TP 94 lze všechny zeminy upravovat. Lze konstatovat, že pokud je to ekonomicky výhodné, neexistují žádné fyzikálně-mechanické vlastnosti zemin, které vylučují jejich úpravu.

Úprava zemin závisí na chemickém složení a fyzikálně mechanických vlastnostech.

Použitelnost a úpravu zemin v zemním tělese definuje ČSN 73 6133 Tabulka 2.

	NEPOUŽITELNÉ 1) k jakémukoli použití	NEVHODNÉ k přímému použití bez úpravy	PODMÍNEČNĚ VHODNÉ k přímému použití bez úpravy	VHODNÉ k přímému použití bez úpravy
Podmínky použití	Nelze upravit běžnými technologemi, použití se zpravidla vylučuje	Musí se vždy upravit 3)	Podle dalších vlastností se rozhodne, zda lze použít přímo bez úpravy nebo zda se musí upravit	Lze použít přímo bez úpravy
Aktivní zóna	Organické zeminy s obsahem organických látek větším než 6 % 2), bahna, rašelina, humus, ornice, CE, ME	ML, MI, CL, CI MH, MV, CH, CV	S-F MG, CG, MS, CS, SM, SC, GM, GC, GP, SP	SW, GW, G-F
Násyp		MH, MV, CH, CV	MG, CG, MS, CS, SM, SC, GM, GC, GP, SP ML, MI, CL, CI	SW, GW, G-F S-F
1) Netýká se podloží násypu a svahů zářezu 2) Obsah 6 % je hranice pro středně organické zeminy dle ČSN EN ISO 14688-2 3) Neplatí pro poddajnou vrstvu vrstevnatého násypu				

Tabulka 2: Použitelnost zemin pro stavbu zemního tělesa

2.1. Úprava zemin pojivem

Ve většině případů se jedná o úpravu zemin za pomoci hydraulických pojiv, tzv. stabilizaci zemin. Tímto procesem jsme schopni vlastnosti méně vhodných zemin zlepšit natolik, že není třeba jejich výměna v zemním tělese. Nespornou výhodou je i snížení namrzavosti, zlepšení únosnosti, plošší křivka Proctor standard, snížení indexu plasticity a jiné.

Vhodnost zemin pro pozemní komunikace na základě jejich vlastností upravuje ČSN 736133 podle tabulky Tabulka 3.

Poř. číslo	Název zeminy	Třída a symbol	Specifické vlastnosti			Vhodnost do násypu			Vhodnost pro podloží vozovky (pro aktivní zónu)		
			Obsah jemných částic f (%)	Mez tekutosti W _L (%)	Postavení v diagramu (Casagrande)	nevhodná	Podmínečně vhodná	vhodná	nevhodná	Podmínečně vhodná	vhodná
1	Šterkovitá hlína	F1 MG	35 až 65		pod čarou A		X			X	
2	Šterkovitý jíl	F2 CG	35 až 65		nad čarou A		X			X	
3	Písčítá hlína	F3 MS	35 až 65		pod čarou A		X			X	
4	Písčitý jíl	F4 CS	35 až 65		nad čarou A		X			X	
5	Hlína s nízkou plasticitou	F5 ML	>65	<50	pod čarou A		X		X		
6	Hlína se střední plasticitou	F5 MI	>65	<50	pod čarou A		X		X		
7	Jíl s nízkou plasticitou	F6 CL	>65	<50	nad čarou A		X		X		
8	Jíl se střední plasticitou	F6 CI	>65	<50	nad čarou A		X		X		
9	Hlína s vysokou plasticitou	F7 MH	>65	<50	pod čarou A	X			X		
10	Hlína s velmi vysokou plasticitou	F7 MV	>65	<50	pod čarou A	X			X		
11	Hlína s extrémně vysokou plasticitou	F7 ME	>65	<50	pod čarou A	Nelze upravit			Nelze upravit		
12	Jíl s vysokou plasticitou	F8 CH	>65	<50	nad čarou A	X			X		
13	Jíl s velmi vysokou plasticitou	F8 CV	>65	<50	nad čarou A	X			X		
14	Jíl s extrémně vysokou plasticitou	F8 CE	>65	<50	nad čarou A	Nelze upravit			Nelze upravit		
			f % (s+g+f)	současné další podm.							
15	Písek dobře zrněný	S1 SW	<5	C _u > 6	C _c = 1 až 3			X			X
16	Písek špatně zrněný	S2 SP	<5	Non SW	-		X			X	
17	Písek s příměsí jemnozrnné zeminy	S3 S-F	5 až 15	-	-			X		X	
18	Písek hlinitý	S4 SM	15 až 35	-	pod čarou A		X			X	
19	Písek jílovitý	S5 SC	15 až 35	-	nad čarou A		X			X	
20	Šterk dobře zrněný	G1 GW	<5	C _u > 4	C _c = 1 až 3			X			X
21	Šterk špatně zrněný	G2 GP	<5	Non GW	-		X			X	
22	Šterk s příměsí jemnozrnné zeminy	G3 G-F	5 až 15	-	-			X			X
23	Šterk hlinitý	G4 GM	15 až 35	-	pod čarou A		X			X	
24	Šterk jílovitý	G5 GC	15 až 35	-	nad čarou A		X			X	

$C_u = d_{60}/d_{10}$, $C_c = d_{30}^2/(d_{10} \cdot d_{60})$, kde d_{10} je průměr zrna odpovídající na křivce zmitosti 10 % propadu, d_{30} dtto na 30 % propadu, d_{60} dtto na 60 % propadu

Tabulka 3: Vhodnost zemin pro pozemní komunikace

2.2. Návrh a vhodnost úpravy zemin

Za správný návrh a vhodnost návrhu úpravy zemin pojivy je vždy zodpovědný geotechnik řešící danou problematiku. Ve spolupráci s geologem provádějícím hydrogeologický průzkum musí na základě zkušeností správně vyhodnotit vhodnost jím navrženého řešení. Návrh závisí na spoustě aspektů, které zkušený geotechnik nesmí opomenout. Jako nejdůležitější je správné zatřídění zemin společně s vyhodnocením jejich vlastností. Důležitá je též rekognoskace okolí, archivních průzkumů a jejich vyhodnocení. Před samotným návrhem zlepšení je třeba důkladně zvážit veškeré možnosti technického a ekonomického hlediska.

Vhodnost návrhu úpravy zemin pojivem je třeba vždy přizpůsobit místním podmínkám a zároveň je nutné s největší pečlivostí vybrat vhodný postup provádění tak, aby bylo docíleno požadovaného výsledku. Veškeré činnosti by měly mít oporu v platných ČSN a TP. V případě jakýchkoliv pochybností s vhodností návrhu je třeba tyto prověřit doplňkovým inženýrskogeologickým průzkumem tak, aby byly dodrženy podmínky funkčnosti a životnosti stavby.

2.3. Technologie provádění

Základním požadavkem při úpravě zemin pojivem je důkladné promíchání zeminy a stabilizátoru. Na srovnaný a upravený podklad ze zeminy je dávkovacím vozidlem (tzv. pudřenkou) rozprostřeno přesné množství pojiva podle receptury navržené geotechnickou laboratoří. Toto množství je možno též ověřit in situ převážením dávkovaného pojiva. Po rozprostření pojiva je toto společně se zeminou zpracováno zemní frézou v počtu pojezdů určených geotechnikem do požadované hloubky. Hloubka záběru frézy je většinou v rozmezí 300 – 500 mm. Dávkování pojiva je přímo úměrné hloubce záběru a objemové hmotnosti zeminy. Vizualně je zemina s pojivem promíchána, když se po pojezdu frézou netvoří hrudky. V době dávkování a mísení pojiva je třeba kontrolovat vlhkost zeminy a v případě potřeby dodat vodu potřebnou k nastartování chemických procesů pomocí kropících vozů. Po dokonalém smísení pojiva se zeminou za optimální vlhkosti je nutné nakypřenou zeminu ztuhnout, abychom se co nejvíce přiblížili laboratorním zkouškám Proctor standard. Následně dochází k přesné úpravě nivelety vozovky podle projektové dokumentace. V neposlední řadě je třeba upravenou zemní pláň – aktivní zónu komunikace - ochránit před mechanickým poškozením většinou vrstvou štěrkodrti, tuto však lze aplikovat až po částečném vyžrání stabilizované zemní pláně.

V zimním období je třeba důsledně hlídat také teplotu upravované zeminy s ohledem na použité pojivo. CaO je možno použít až do -5°C , cementová pojiva od $+5^{\circ}\text{C}$. Zemina nesmí být promrzlá nebo obsahovat zmrzlé čocky vody. Měření teploty se provádí in situ teploměrem a vizuální kontrolou stavu zeminy.

2.4. Průkazní a kontrolní zkoušky

Kontrolní a průkazní zkoušky zemin upravuje ČSN 73 6133 – Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací, TP 94 – Úprava zemin. Průkazní zkoušky neupravených zemin podle ČSN 73 6133 jsou uvedeny v Tabulka 4. Průkazní zkoušky upravených zemin podle ČSN 73 6133 jsou uvedeny v Tabulka 5.

Vlastnost		Požadavek	Zkouška	Podmínky zkoušky
Zrnitost		kritéria použitelnosti podle 4.1	ČSN EN ISO 17892-4	Jen pro S nebo G
Číslo nestejnzrnnosti			Příloha A	
Mez tekutosti, mez plasticity, číslo plasticity, číslo konzistence			ČSN EN ISO 17892-12	
Vlhkost v přirozeném uložení		deklarovaná hodnota	ČSN EN ISO 17892-1	
Objemová hmotnost v přirozeném uložení		deklarovaná hodnota	ČSN 72 1010	
Obsah organických látek		max. 6 %		
Propustnost		deklarovaná hodnota	ČSN EN ISO 17892-11	
Stlačitelnost		deklarovaná hodnota	ČSN EN ISO 17892-5	Jen pro F, popř. S V oboru napětí odpovídajícímu napětí v zemní konstrukci
Max. objemová hmotnost (Proctor standard)		deklarovaná hodnota	ČSN EN 13286-2	U zemni jemnozrnných a hrubozrnných, kde lze zkoušku provést
Optimální vlhkost (Proctor standard)				
Minimální a maximální ulehlost			ČSN 72 1018	U zemin hrubozrnných nebo stejnozrnných
CBR	aktivní zóna	<u>podloží CBR</u> P III min. 15 % P II min. 30 % P I min. 50 %	ČSN EN 13286-47	Pro zhotovení zkušební tělesa se použije Proctorova standardní hutnicí práce, zrání zkušební vzorku probíhá sycením ve vodě po dobu 96 hodin
	ztužující vrstva vrstevnatého násypu	min. 15 %		Zhotovení a zrání zkušební tělesa se provádí podle příslušné ČSN EN 14227-10 až14
IBI	aktivní zóna	deklarovaná hodnota		Pro účely kontrolních zkoušek Zkouší se bezprostředně po zhotovení zkušební vzorku
	násyp	min. 10 %		
	podloží násypu	min. 10 %		
Namrzavost	aktivní zóna	deklarovaná hodnota	Zrnitostní kritérium (obrázek A.2)	Podle zrnitosti, v případě pochyb zkouška ČSN 72 1191
Smyková pevnost efektivní		deklarovaná hodnota	ČSN EN ISO 17892-4, popř. ČSN EN ISO 17892-10	V oboru napětí odpovídající napětí v zemní konstrukci
Smyková pevnost totální (neodvodněná)		Min. 25 kPa ^b	ČSN EN ISO 17892-8, popř. ČSN EN ISO 17892-10	Při posuzování únosnosti a stability násypů na měkkém podloží
^a Optimální vlhkost stanovena při zkoušce Proctor standard je v některých případech z hlediska reálné hutnicí práce na stavbě příliš vysoká, proto se může interval přípustné vlhkosti přiměřeně upravit.				
^b Platí i pro poddajnou vrstvu podle 4.1.5.1				

Tabulka 4: Průkazní zkoušky neupravených zemin

Vlastnost		Požadavek	Zkouška	Podmínky zkoušky
Zrnitost		kritéria	ČSN EN ISO 17892-4	Při mechanické úpravě
Číslo nestejnozrnnosti		použitelnosti podle 4.1	Příloha A	Jen pro S nebo G
Max. objemová hmotnost (Proctor standard)		deklarovaná hodnota	ČSN EN 13286-2	U zemni jemnozrnných a hrubozrnných, kde lze zkoušku provést
Optimální vlhkost (Proctor standard)				
CBR	aktivní zóna	<u>podloží CBR</u> P III min. 15 % P II min. 30 % P I min. 50 %	ČSN EN 13286-47	Platí pro ztužující vrstvu vrstevnatého násypu; zhotovení a zrání zkušební tělesa se provádí podle příslušné ČSN EN 14227-10 až 14
	ztužující vrstva vrstevnatého násypu	min. 15 %		
IBI	aktivní zóna	deklarovaná hodnota	ČSN EN 13286-47	Pro účely kontrolních zkoušek Zkouší se bezprostředně po zhotovení zkušební vzorku
	násyp	min. 10 %		
	podloží násypu	min. 10 %		
Objemové změny (bobtnání)	aktivní zóna	max. 3 %	ČSN EN 13286-47	Lineární bobtnání při zkoušce CBR se zkouší pro vysoce plastické zeminy upravené popílky
Namrzavost	aktivní zóna	deklarovaná hodnota	ČSN 72 1191	

Tabulka 5: Průkazní zkoušky upravených zemín

Kontrolní zkoušky musí provádět laboratoř odsouhlasená objednatelem s příslušnou způsobilostí. Kontrolní zkoušky se provádějí podle požadavků ČSN 73 6133 a TKP4. Přehled kontrolních zkoušek podle ČSN 73 6133 Tabulka 6 a Tabulka 7.

Vlastnosti / druh sypaniny		Minimální požadavek	Zkouška	Četnost ^{a)}
Vlhkost	jemnozrnné zeminy	Odchylky od $W_{opt, PS}$ -5% až +5%	ČSN EN ISO 17892-1	1 x na 1250 m ² nebo 500 m ³
Míra zhutnění dle objemové hmotnosti (parametr D)	podloží násypu	92 % PS	ČSN 72 1006	1 x na 4000 m ² nebo 1600 m ³ a při každé změně sypaniny, u homogenní sypaniny nejméně 3 x denně
	násyp z jemnozrnných (F) nebo písčítých zemín (SW, SP, S-F) nebo popílku	95 % PS		
	aktivní zóna / zemní pláň	100 % PS		
Minimální vlhkost	zeminy upravené	$W_{0,90}$	ČSN EN ISO 17892-1	
CBR	ztužující vrstva vrstevnatého násypu	min. 15 %	ČSN EN 13286-47	1 x na 10000 m ³ nebo 1 x denně
IBI	aktivní zóna	min. deklarovaná hodnota		
	násyp	min. 10 %		
	podloží násypu	min. 10 %		

^{a)} Jsou-li uvedena 2 kritéria četnosti zkoušek, musí být splněno kritérium přísnější

Tabulka 6: Kontrolní zkoušky při provádění a po dokončení zemního tělesa - zeminy upravené

Vlastnosti / umístění		Minimální požadavek	Zkouška	Četnost
Modul přetvárnosti $E_{def,2}$ ^{a)}	CBR>15% (PIII)	45 MPa ^{b)}	ČSN 72 1006	1x na 100 bm dopravního pásu Popř. 1 x na 1000m ³ ostatních ploch
	CBR>30% (PII)	60 MPa		
	CBR>50% (PI)	90 MPa		
^{a)} Prokázání minimálních hodnot CBR pro uvedené typy podloží vozovek nemusí zaručit dosažení požadovaného modulu přetvárnosti $E_{def,2}$ ^{b)} Pro vozovky s dopravním zatížením třídy VI nebo s návrhovou úrovní porušení D2 platí min. 30 MPa				

Tabulka 7: Zkoušky na zemní pláni navíc pro zeminy upravené a neupravené

Kontrolní zkouška při úpravě zemin pojivy podle TP 94 Tabulka 8.

Vlastnost / Druh sypaniny		Minimální požadavek	Zkouška	Četnost
stejnomyšernost a hloubka promísení	zeminy upravované pojivy		TP 94	podloží násypu – 1x5000m ² , násyp – 1x3000m ² nebo 1x2000 m ³ , aktivní zóna – 1x2000m ² nebo 1x1000m ³ (v případě aktivní zóny složené ze dvou vrstev se zkontroluje pouze vrstva spodní. Horní vrstva se zkontroluje jako pláň) zemní pláň – 1x2000m ²
dávkování pojiva	zeminy upravované pojivy	±10% od předepsaného množství	TP 94	1x 5000m ² nebo při každé nové dávce
hrudkovitost	zeminy upravované pojivy	průměr hrudky max. 25 mm	TP 94	Po každém cyklu úpravy
zkoušky pojiva	zeminy upravované pojivy	parametry stanovené výrobce	TP 94	1x10000m ³

Tabulka 8: Kontrolní zkoušky při úpravě zemin pojivy

3. Objemové změny jílovitých zemin

K poruchám jílovitých zemin patří hlavně objemová nestálost. Při dotaci vody objemově nestálých zemin dochází k bobtnání. V případě vysušení objemově nestálých zemin dochází ke smršťování. Vše je závislé na obsahu a struktuře obsažených jílovitých minerálů v zemině.

Bobtnající zeminy jsou jílovité zeminy, vykazující značné změny objemu v důsledku kontaktu s vodou. Tyto zeminy jsou tvořeny jílovými minerály, který jsou schopny vázat vodu. Vnitřní struktura je schopna pojmout velké množství vody a tím změnit objem jílových částic.

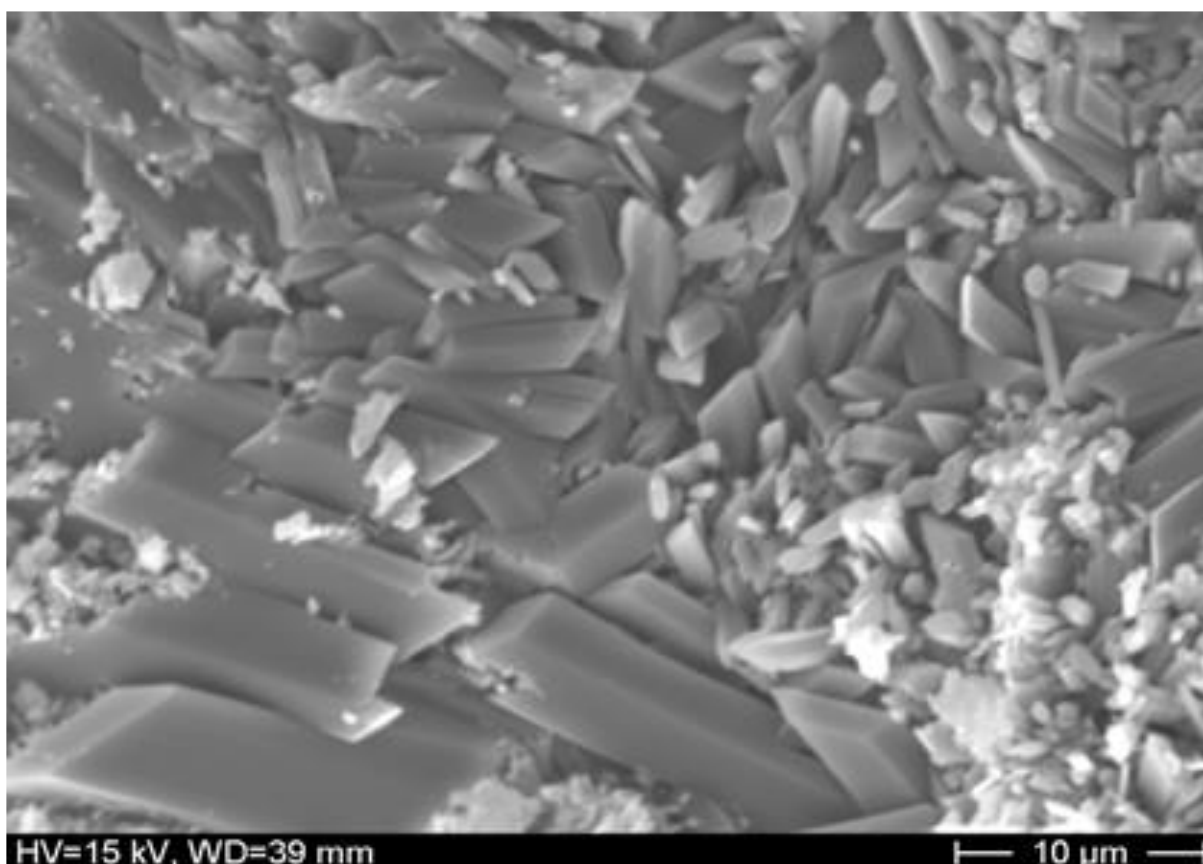
U jílovitých zemin jsou velmi důležitou složkou jílové minerály, které mají zásadní vliv na objemové změny. Velice zásadní jsou síranové minerály a minerály hliníku. Sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) umí s dostatkem vody z podpory pojiv s obsahem CaO vytvořit velký krystalizační tlak (až 28 MPa). Krystalizační tlak sádrovce je schopen několikanásobně zvětšit svůj objem a může během růstu způsobit pothání jílu.

Jiným příkladem objemových změn jílovitých zemin je vznik minerálů ettringitu a thaumasitu, které jsou schopné za dotace vody zvětšit svůj objem až na 300%.

3.1. Sádrovec

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (dihydrát síranu vápenatého).

Sádrovec (Obrázek 3) je minerál, který se skládá převážně ze sádry. Má světlé, téměř bílé až šedé zbarvení. Vedlejšími komponenty mohou být anhydrit, jílové minerály, uhličitany, křemen a rozpustné soli jako je glauberit, syngenit nebo polyhalit. Tyto soli mohou být považovány za primární nečistoty. Mezi sekundární nečistoty patří krasové výplně a související nadloží. Sádrovec je dokonale štěpný, jeho krystaly jsou díky této štěpnosti nevratně ohebné. Na štěpných plochách je skelně až perleťově lesklý. Je velmi měkký, takže do něj lze snadno rýpat již nehtem.



Obrázek 3: Sádrovec – krystaly (Müllauer, 2009, 16)

Sádrovec jako jedna z přirozeně se vyskytujících fází síranu vápenatého je v podstatě vázán na sedimentární usazeniny. Sádrovec vzniká většinou hydratací anhydritu. Tento proces se vyznačuje nárůstem objemu až o 60 %.

Na rozhraní sádrovce a anhydritu vznikají bílé puklinové výplně.

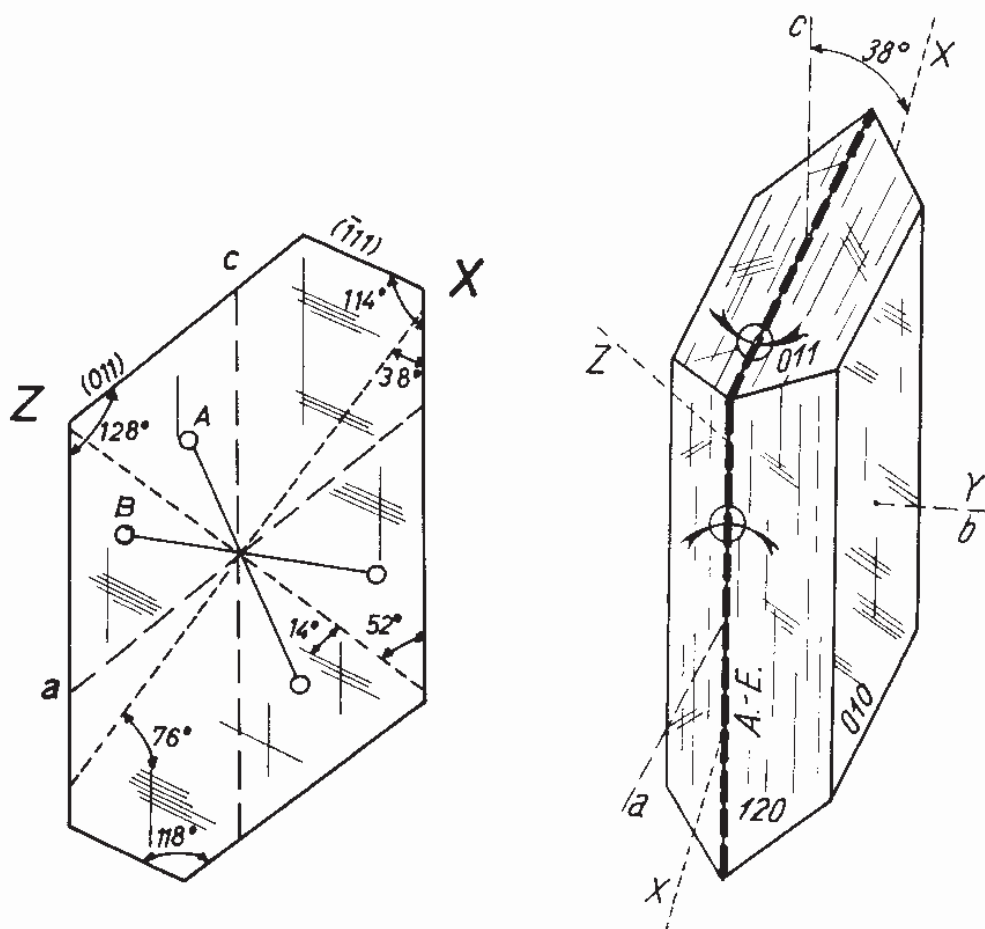
Sádrovec vzniká působením kyseliny sírové na vápenec a sopečnou činností. Kromě toho se sádrovec může konkretizovat v jílech. V pouštích se sádrovec tvoří společně se zrnky písku a vytváří růžicovité uskupení, tzv pouštní růži.

Sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) má následující teoretické procentuální chemické složení:

Ca - 23,28 %, S - 18,62 %, O - 55,76 %, H - 2,34 %, obsahuje časté příměsi.

Krystalová struktura sádrovce se skládá z $[\text{SO}_4]^{2-}$ vrstvy se silnou vazbou na Ca^{2+} . Vrstvy CaSO_4 , které se skládají z řetězců $\{\text{SO}_4\text{-Ca-SO}_4\text{-Ca}\}$, se střídají s mezivrstvami molekul vody. Bočně je tento sled vrstev ohraničen též molekulami H_2O . Tímto uspořádáním dochází relativně snadno k uvolňování vody, které začíná již při 42 °C. Slabé síly mezi molekulami H_2O jsou navíc příčinou kulovité struktury, která podle nich vzniká. Velké monoklinické krystaly jsou často utvářeny tabulkovitě. Vzácněji se vyskytují prutovité a jehlicovité útvary. Hmota sádrovce je většinou jemnozrná.

Štěpení krystalu po (010) je dokonalé, po (100) zřetelné a po $(\bar{1}11)$ vláknité - Obrázek 4.



Obrázek 4: Štěpení krystalu sádrovce (Tröger, 1969, 268)

Sádrovec tvoří dvojné soli např. syngenit($\text{CaSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), trojné soli např. polyhalit ($2\text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a pevné roztoky např. ettringit, který je zajímavý pro reakce cementu.

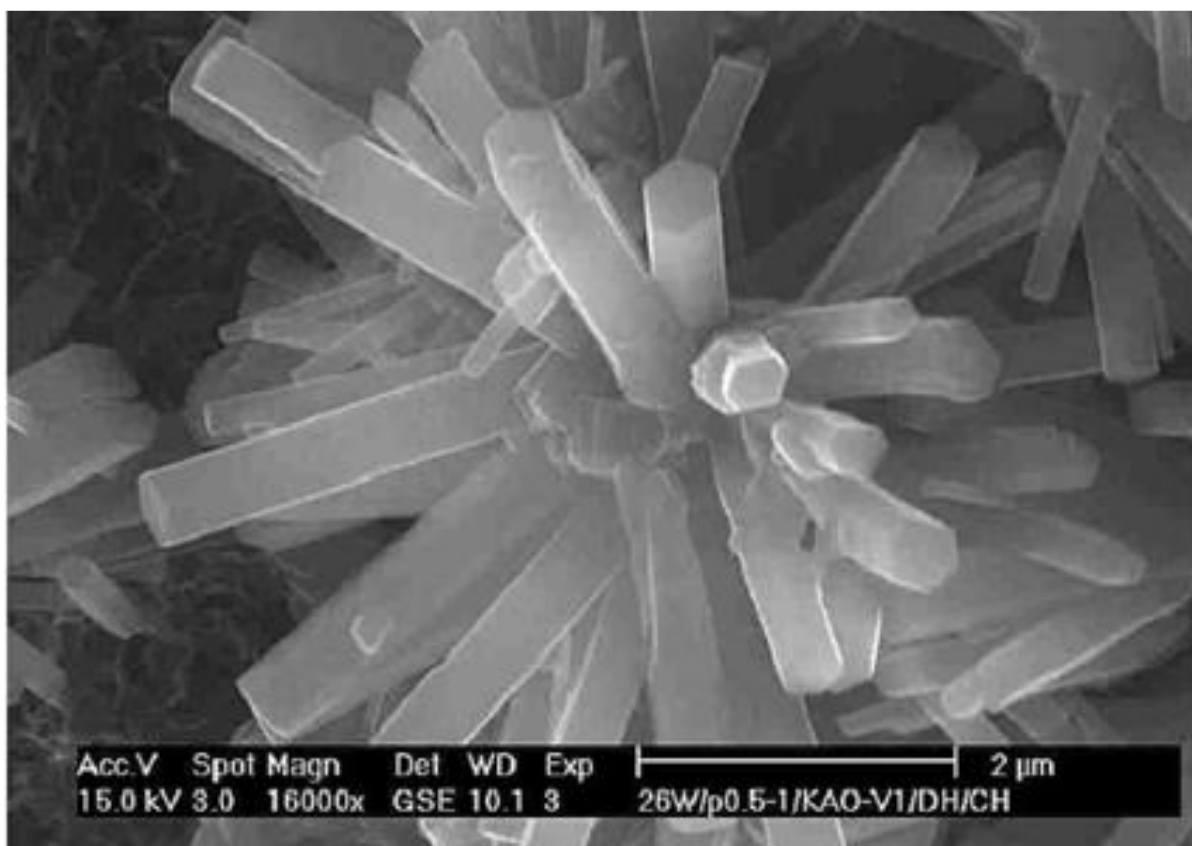
Krystaloví jedinci sádrovce mohou dosahovat velikosti až několika metrů (Obrázek 5).



Obrázek 5: Krystaly sádrovce - Naica, Mexiko ²

3.2. Ettringit

Ettringit je sloupcovitý, hexagonálně prizmaticky krystalizující minerál (Obrázek 6), který byl poprvé popsán v přírodní formě Lehmannem v roce 1874. Koncem roku 1952 byla poprvé synteticky vyrobena také tzv. "Candlotova sůl" neboli "cementový bacil".



Obrázek 6: Ettringit – krystaly (Müllauer, 2009, 24)

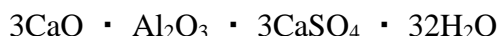
Pokud jsou vápník, hliník, voda a sírany přítomny v roztoku ve správném poměru iontové koncentrace, pak se za určitých okrajových podmínek tvoří komplexní soli ettringitu nebo monosulfátu.

V závislosti na poměru množství Al_2O_3 na CaSO_4 vzniká:

$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{CaSO}_4 < 0,3$	→	ettringit
$0,3 < \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{CaSO}_4 < 1,0$	→	ettringit a monosulfát
$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{CaSO}_4 > 1,0$	→	monosulfát

Krystalizace ettringitu probíhá s nárůstem objemu ve srovnání s výchozími materiály. V případě prostorové překážky může dojít ke značnému tlaku.

Chemické složení ettringitu



Nebo zkrácená forma



Vzhledem ke svému složení je ettringit známý také jako hydrát síranu hlinitovápenatého, hydrát trisíranu hlinitovápenatého nebo zkráceně trisíran. Je to minerál bohatý na krystalizační vodu, necelou polovinu jeho molární hmotnosti (celkem 1254,6 g/mol) tvoří krystalizační voda. V Tabulka 9 jsou uvedeny nejdůležitější chemické vlastnosti ettringitu.

Molární hmotnost	270,20 g C ₃ A + 3 × 136,14 g CaSO ₄ + 32 × 18,00 g H ₂ O
Teoretické složení 1 molu	21,54 % C ₃ A + 32,55 % CaSO ₄ + 45,91 % H ₂ O Resp. 26,82 % CaO + 8,13 % Al ₂ O ₃ + 19,14 % SO ₃ + 45,91 % H ₂ O
Čistý ettringit (bez vody)	49,60 % CaO + 15,00 % Al ₂ O ₃ + 35,40 % SO ₃
Hustota čistého Ettringit	1,7504 g/cm ³ bis 1,7729 g/cm ³

Tabulka 9: Nejdůležitější chemické vlastnosti Ettringit

Molekuly vody jsou v dutinách částečně vázány jen velmi volně a lze je snadno oddělit při sušení nebo zvýšení teploty. Bez vody se sám krystal stává nestabilním. Z tohoto důvodu se ettringit vyskytuje v různých formách v závislosti na podílu krystalizační vody.

Kollmann (1976) uvádí různé formy ettringitu obsahující 8-120 molekul H₂O.

Kromě toho existují různé podtypy ettringitu, které krystalizují do krystalové mřížky a jsou tvořeny ionty Si⁴⁺, Fe³⁺, Cr³⁺ nebo alkalickými zeminami.

K tvorbě ettringitu v důsledku přebytku síranů ve ztuhlé směsi zeminy a pojiva dochází, pokud je ve směsi přítomno více síranů než je nutné pro hydrataci.

3.2.1. Tvorba ettringitu v zemině stabilizované pojivy s obsahem síranů

K tvorbě ettringitu v důsledku přebytku síranů ve ztuhlé směsi zeminy a pojiva dochází, pokud je ve směsi přítomno více síranů, než je nutné pro hydrataci pojiva.

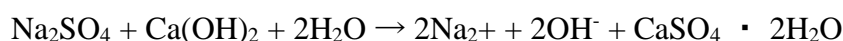
Kromě toho je třeba rozlišovat mezi tvorbou ettringitu v důsledku nadbytku síranů v pojivu nebo v důsledku vnitřních a vnějších zdrojů síranů v zemině. V zemině stabilizované pojivy se sírany vyskytují většinou v přídavné vodě, v pojivu, ale také v podzemních vodách a v zemině (většinou ve formě sádrovce).

Jako vnitřní zdroj síranů může být i podzemní voda, která se mísí in situ se zeminou a pojivem. Zároveň mohou sírany v zemině nebo v podzemní vodě sloužit jako vnější zdroj síranů pro směs dávkovaného pojiva. V zásadě všechny sloučeniny s nízkým obsahem síranů, které jsou standardně získávány z pojiv během hydratace (obsah C₃A je obecně vyšší, než je nutné pro přeměnu síranů v pojivu) se při pozdějším dodání síranů zapojí ke vzniku ettringitu. Pokud je mikrostruktura neporušená, následná tvorba ettringitu probíhá lokálně a po omezenou dobu, protože potřební reakční partneri (voda a sírany) se nemohou dostat do místa reakce v dostatečném množství a dostávají se do místa reakce později zvenčí díky difúzi. V Tabulka 10 jsou uvedeny očekávané nárůsty objemů, které lze očekávat při tvorbě ettringitu ze sloučenin chudých na sírany ve ztvrdlé cementové pastě.

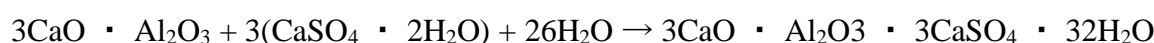
Sloučeniny s nízkým obsahem síranů		Zvětšení objemu
C ₃ A	ettringit	8,0x
C(AF)	ettringit	5,7x
C ₃ AH ₆	ettringit	4,8x
C ₃ AH ₆	monosulfát	2,5x
monosulfát	ettringit	2,3x

Tabulka 10: Zvětšení objemu při tvorbě Ettringitu ze sloučenin chudých na sírany ve vytvrzené cementové pastě. Kontakt s vodou a sírany (Müllauer, 2009, 134)

Studie provedené Müllauerem (2009) o vlivu síranů na fázové útvary v zatvrdlé cementové pastě ukázaly, že v případě přidání např. vysoce rozpustného síranu sodného Na₂SO₄ do ztvrdlé cementové pasty nejprve reagují síranové ionty s hydroxidem vápenatým za vzniku sádry viz následující rovnice



To vychází z řešení portlanditu. C₃A, který je stále přítomen ve ztuhlé směsi zemin a pojiva pak reaguje se sádrovcem za vzniku ettringitu. Alternativně může sádrovec také reagovat s primárním ettringitem obsaženým ve stabilizované zemině pojivy za vzniku sekundárního ettringitu dle rovnice:



Koncentrace síranů v pórech musí být odpovídajícím způsobem vysoká, hodnota pH musí být nižší než 13. Aby uhličitan C_3A obsažený v monokarbonátu ($C_3A - CaCO_3 - H_{11}$) sloužil jako primární zdroj hlinitanu při tvorbě ettringitu. Pomocí C_3A může být tvorba ettringitu značně omezena.

3.2.2. Zemina a podzemní voda jako zdroj síranů

Aby se zabránilo škodlivému vzniku ettringitu v důsledku vnějšího působení síranů obsažených v zemině nebo podzemní vodě na konstrukce, jsou mezní hodnoty stanoveny pro chemicky agresivní prostředí dle ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Klasifikace chemického prostředí platí pro zeminu a podzemní vodu při teplotě vody/zeminy v rozmezí $+5^{\circ}C$ až $+25^{\circ}C$ a pro velmi mírnou rychlost vody blížící se nehybnému stavu podle Tabulka 11.

Třída prostředí	Podzemní voda [mg/l]	Zemina [mg/kg]
XA1	$200 \geq XA1 \leq 600$	$2\ 000 \geq XA1 \leq 3\ 000$
XA2	$600 > XA2 \leq 3\ 000$	$3\ 000 > XA2 \leq 12\ 000$
XA3	$3\ 000 > XA3 \leq 6\ 000$	$12\ 000 > XA3 \leq 24\ 000$

Tabulka 11: SO_4^{2-} Klasifikace chemického prostředí (ČSN EN 206-1)

V případě obsahu síranů vyššího než $3\ 000\ mg\ SO_4^{2-}$ na kg vzduchem vysušené zeminy nebo $600\ mg$ na litr podzemní vody musí být splněny požadavky pro betonové prvky, které jsou v kontaktu se síranovým nosičem. Je třeba použít cementy s vysokou odolností proti síranům. Tyto cementy mají jen malý obsah nebo vůbec žádný obsah C_3A , takže hlinitanová složka nezbytná pro tvorbu ettringitu je omezená nebo není k dispozici vůbec. Do jisté míry lze tyto limity použít i na směsi zemních pojiv.

Pro zlepšování zemin pojivy a pro obsah pojiva $< 10\ %$ jsou v zahraniční literatuře uvedeny hodnoty obsahu síranů v půdě mezi $1\ 000$ a $10\ 000\ mg/kg$, při jejich překročení a použití pojiv s obsahem CaO , lze očekávat tvorbu ettringitu.

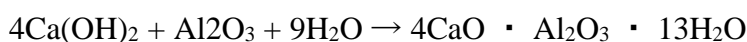
Kromě síranů, které jsou v půdě přítomny převážně ve formě sulfidů železa (pyritu a markazitu), může rovněž sádrovec ($CaSO_4 - 2H_2O$) nebo bezvodý anhydrit ($CaSO_4$) sloužit jako zdroj síranů. Přestože sádrovec a anhydrit jsou zpočátku imobilizovány hydratací pojiva, mohou být časem vyplaveny ve vodě. Rozpuštěné síranové ionty jsou pak přímo k dispozici pro tvorbu ettringitu. Kromě toho pomalé rozpouštění zvyšuje pórovitost mikrostruktury a

transportní procesy ve struktuře se zvyšují. Během odplavování síranů ze zeminy hraje jejich rozpustnost významnou roli. Pomalu nebo špatně rozpustný sádrovec je optimální úložiště síranů pro škodlivou tvorbu ettringitu v zemině stabilizované pojivem.

3.2.3. Tvorba ettringitu hlinitany z jílových minerálů

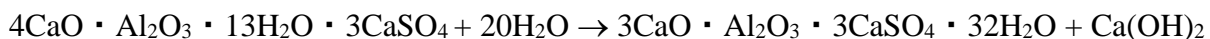
Při použití směsného pojiva ke stabilizaci jílovitých zemin probíhají kromě chemických a fyzikálních reakcí v důsledku hydratace pojiva také chemické a fyzikální reakce mezi jílovými minerály a pojivem. Vzhledem k velkému povrchu jílových minerálů se při vysoké hodnotě pH ve směsi *zemina - pojivo* uvolňují ionty hliníku z těchto jílových minerálů. Ty se mohou rozpouštět a v kombinaci se složkami pojiva může vzniknout ettringit.

V podstatě se mohou jílové minerály s rozpuštěným $\text{Ca}(\text{OH})_2$ z hydraulického pojiva, vody a iontů Al^{2+} stát základní složkou roztoku křemičitanů potřebnou ke vzniku hydrátu hlinitanu vápenatého (fáze C-A-H)



Al₂O₃ využito z jílových minerálů

Ettringit vzniká z C-A-H fází v kombinaci se sírany.



Protože hydraulická pojiva vždy obsahují SO_4^{2-} složky, je přítomnost síranových iontů v upravované zemině alespoň v malém množství vždy zajištěna.

3.2.4. In situ bobtnavá roztažnost směsí zeminy a pojiva

Řádová velikost pozorované deformace v případě poškození směsí zemního pojiva v důsledku tvorby ettringitu je velmi variabilní. Různí autoři zdokumentovali zvednutí až o 30 cm, což odpovídá zvětšení (bobtnání) v poměru k celkové výšce zlepšeného zemního tělesa o 20 % až 200 %. Tabulka 12 shrnuje některé výsledky měření z literatury.

	Naměřené posuny	Mocnost zlepšené zemní pláně	Bobtnání vzhledem k původní výšce	Typ jílovitých zemin
	[m]	[m]	[%]	
Keller et al. (2002) Knopp & Moormann (2016a)	0,11 (max 0,3)	0,2	55	Corrensit
Keller et al. (2002)	0,3	1,5	20	Corrensit
Ksaibati & Huntington (1999)	0,18	0,25	72	Kaolinit
Rollings & Rollings (2003)	0,3	0,15/0,2	150 - 200	Smektit
Rollings & Rollings (2003)	0,05	0,15	33	Smektit
Rollings et al. (1999)	0,063	0,15	42	Kaolinit, Smektit
Hunter (1988)	0,0762	0,127	60	Montmorillonit
Hunter (1988)	0,1524	0,2032	75	Montmorillonit
Katzenbach et al. (2004)	>0,36	7,5	5	Muskowit

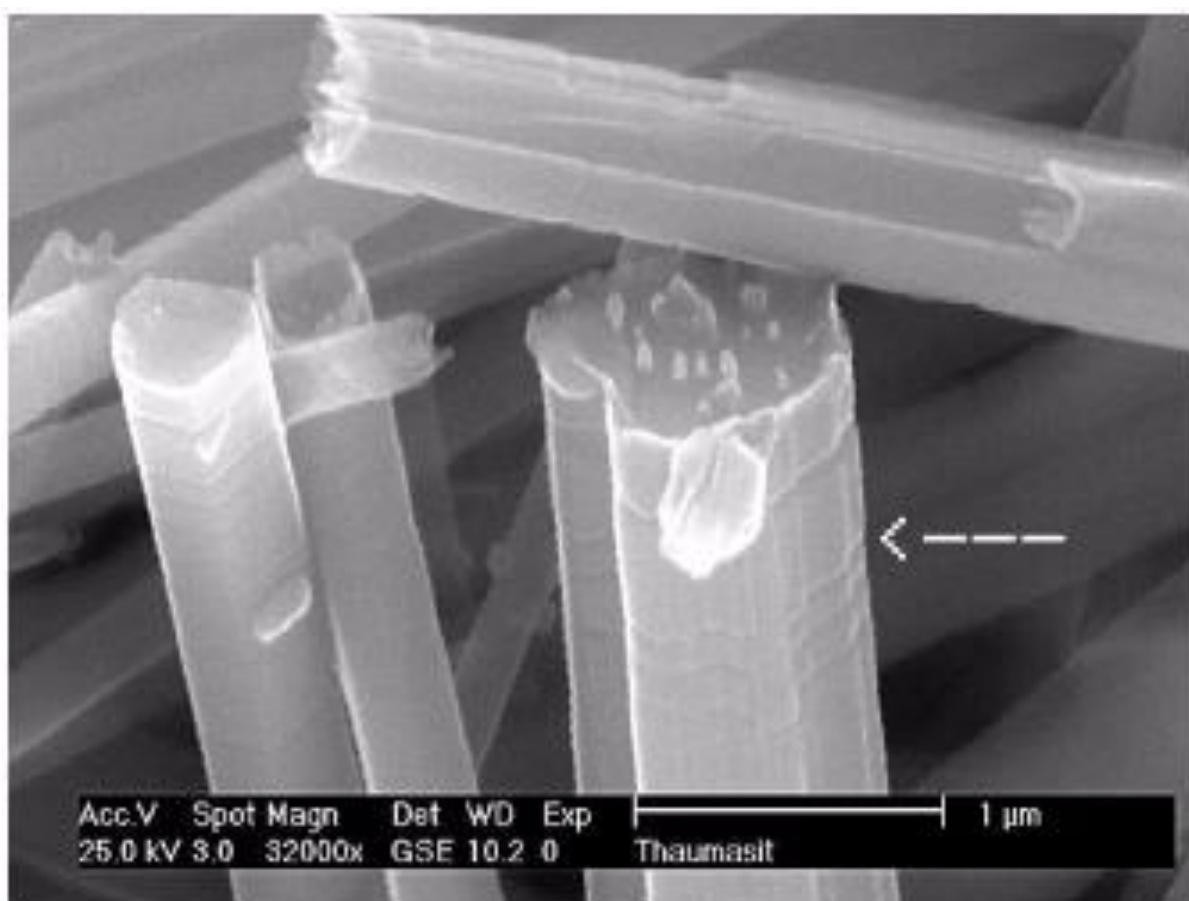
Tabulka 12: výsledky měření z literatury (Stark, 2009, 121)

3.3. Thaumasisit

Další sloučeninou podobnou ettringitu je thaumasisit (Obrázek 7) s následujícím chemickým složením:



Thaumasisit vzniká při teplotách mezi 0 °C a 5 °C z fází C-S-H, vody, síranových iontů a CO₂ tvorbou nových krystalů ze síranových iontů C-S-H fází, což vede k destrukci pojivové matrice. Další možnost vzniku je přeměna ettringitu na thaumasisit. Oba tyto minerály se vyskytují společně. Jelikož se thaumasisit téměř neliší od ettringitu je jeho identifikace obtížná i za pomoci rentgenové difrakce. Tvorba thaumasisitu je často doprovázena tvorbou sekundárního sádrovce a brucitu (hydroxid hořečnatý).



Obrázek 7: Thaumasisit – krystaly (Müllauer, 2009, 32)

4. Poruchy zpevněných ploch v lokalitě Mladá Boleslav - Plazy

4.1. Popis území a rozsah poruch

Cílem mé práce je problematika vzniku a sanace poruch stávajících komunikací a zpevněných ploch logistického areálu Mladá Boleslav - Plazy. Poruchy se nacházejí jak v prostoru ploch se živičným povrchem, tak i ploch s betonovým povrchem a zámkovou dlažbou. Všechny tyto poruchy mají podobu zdvihnutého (vybouleného) povrchu s velikostí zdvihu místy až 20 cm. V místě největších poruch se v povrchu vyskytují výrazné rozevřené trhliny, a to jak u živičného tak i cementobetonového krytu. Obdobné poruchy v podobě zvlňených komunikací lze pozorovat i na jiných místech areálu (např. komunikace při severozápadním i jihovýchodním okraji nebo zpevněné plochy před objektem). Fotografická dokumentace vybraných poruch zpevněných ploch je uvedena v Příloze A.

Podle informací provozovatele areálu ke vzniku takovýchto poruch dochází nepravidelně již zhruba po dobu 5 let. Rovněž je v současné době pozorován progres u průzkumem sledovaných poruch a dochází i ke vzniku poruch nových. Nevýrazné poruchy jsou pozorovány i v prostoru zastřešené části areálu. K hodnocení vlivu vody na vznik těchto poruch je třeba uvést, že dle informace provozovatele areálu docházelo k takovýmto poruchám i v minulosti a to i v období bez intenzivních srážek.

Podkladem pro mou práci byly dostupné geologické mapové podklady, archivní inženýrskogeologické průzkumné práce v zájmovém území a posudky zabývající se problematikou poruch těchto komunikací zpevněných ploch. Pro zpracování práce byla rovněž dostupná projektová dokumentace provedených stavebních a sanačních prací.

4.2. Všeobecné přírodní poměry zájmového území

4.2.1. Geomorfologické, hydrologické a klimatické poměry

Zájmové území se nachází při východním okraji Mladé Boleslavi, severně od hlavní komunikace 1/16 Mladá Boleslav - Jičín, zhruba 1,3 km severně od obce Řepov a 1,5 km západně od obce Plazy. Převážná část území se nachází v prostoru stávajícího areálu logistického centra. Pouze severozápadní okraj území se nachází na zemědělsky obdělávaném pozemku. Přirozený terén území je rovinný s nadmořskou výškou kolem 211 m n. m. Terén byl v minulosti upraven řadou hald a navážek antropogenních uloženin a to zejména v prostoru projektovaného objektu. Jižní a jihozápadní okraj území tvoří umělé koryto bezejmenného potoka.

Podle morfologického členění reliéfu České republiky je zájmové území součástí Mladoboleslavské kotliny, která je součástí České tabule, podsoustavy pahorkatiny České tabule, celku Jičínské pahorkatiny, podcelku Turnovské pahorkatiny.

Z klimatického hlediska náleží lokalita mírně teplé oblasti - okrsek B2, jenž je charakterizován mírně suchým klimatem s mírnou zimou. Průměrná roční teplota je cca 8 °C, průměrný roční úhrn srážek je asi 550 mm.

4.2.2. Geologické a hydrogeologické poměry

Podle regionálně geologického členění je zájmové území součástí České křídové pánve vyvinuté zde v tzv. labském vývoji. Horninové podloží je zde tvořeno mezozoickými sedimenty v podobě tmavě šedých svrchnoturonských až coniackých slínovců (teplické souvrství). Svrchní zvětralé polohy slínovců v převážné části území vystupují poměrně blízko k povrchu terénu a jsou kryty jen omezeně mocnou vrstvou kvartérních sedimentů v podobě deluviálních jíílů a deluvio-fluviálních jíílů, písčitých jíílů a jílovitých písků. Směrem k původnímu korytu potoka v jižní a jihozápadní části území mocnost kvartérních uloženin postupně narůstá až na max. cca 3,5-4,0 m. Zde se lokálně nacházejí holocenní jílovité sedimenty s vysokým podílem organické složky. Nejsvrchnější poloha kvartérních zemin je tvořena humózním horizontem s mocností do cca 1,0 m. Ve východní části zájmového území v prostoru budoucího objektu se nacházejí četné antropogenní navážky s mocností až 5,0-6,0m.

Hydrogeologické poměry zájmového území jsou dané geologickou stavbou, morfologií a četností srážek. Vzhledem k charakteru křídového podloží a kvartérního pokryvu se v zájmovém území nacházejí dva samostatné kolektory. Svrchní kolektor je představován vrstvou deluvio-fluviálních písků a jílovitých písku, které tvoří omezeně mocné a nepravidelné polohy v jižní a jihozápadní části území. Směrem k východu a severovýchodu pak tyto zvodnělé polohy postupně vyklidňují. Hladina podzemní vody tohoto kolektoru může být mírně napjatá a v blízkosti stávajícího koryta potoka koresponduje s úrovní jeho hladiny. Spodní kolektor představují polohy silně zvětralých a rozpukaných slínovců s puklinovou propustností. Míra propustnosti a odpovídající vydatnost přítoků je u tohoto kolektoru značně nepravidelná, daná zejména rozevřením puklin a jejich jílovité výplně. Hladina podzemní vody tohoto kolektoru je napjatá s výtlačnou výškou v době průzkumných prací až 1,0 m pod povrch stávajícího terénu (např. HV3 a V12). Mezi těmito dvěma kolektory se nachází nepropustná poloha (izolátor) v podobě jílovitých zvětralin slínovců a jejich svažování s

mocností kolem 2,0-3,0 m. V případě obou kolektorů je nutné očekávat jejich závislost (úroveň hladiny podzemní vody) na aktuálních (svrchní kolektor) i dlouhodobějších srážkách (křídový kolektor).

4.3. Archivní rešerše

Úkolem provedené archivní rešerše bylo shromáždění a vyhodnocení všech relevantních materiálů souvisejících s předmětem a cílem práce. Z hlediska inženýrskogeologického průzkumu byly prostudovány především dostupné geologické mapy a výsledky průzkumných prací v prostoru zájmového území i jeho blízkého okolí. V případě problematiky poruch stávajících komunikací i souvisejícího návrhu úpravy podloží nově projektovaných halových objektů a přilehlých komunikací byla podrobně prostudována jak dostupná projektová dokumentace stavby a posudky zabývající se průzkumem míst porušených komunikací, tak i české a zahraniční materiály zabývající se obdobnou problematikou. Vzhledem k výsledkům archivních inženýrskogeologických průzkumných prací, specifikaci poruch (zdvih povrchu) a způsobu úpravy aktivní zóny v místě poruch byla pozornost soustředěna především na zkušenosti s úpravou jílovitých zemin s vysokým obsahem síranů.

4.3.1. Geologická prozkoumanost zájmového území

V rámci vlastního prostoru předmětné stavby byl v roce 2006 proveden předběžný inženýrskogeologický průzkum (Borši, 2006), který zahrnoval 10 průzkumných vrtů hloubky 6,0 m, 5 základních klasifikačních rozborů zemin, 2 zkoušky únosnosti CBR na vápnem zlepšené zemině a 1 rozbor podzemní vody pro stavební účely. Zhruba 500 m jihovýchodně od zájmového území byl dále v roce 2002 proveden podrobný inženýrskogeologický průzkum pro projekt výstavby halových objektů (Vybíral, 2002). V rámci tohoto průzkumu bylo provedeno celkem 16 průzkumných vrtů s hloubkou 2,5-7,0 m, 12 základních klasifikačních rozborů zemin a 3 rozborů podzemní vody pro stavební účely.

4.3.2. Výsledky archivních průzkumných prací a posudků

V rámci řešení problému vzniku poruch zpevněných ploch v areálu Mladá Boleslav - Plazy bylo na základě poskytnutých podkladů v minulosti provedeno několik průzkumů a odborných posudků.

V roce 2013 byl společností Báňské projekty Teplice a.s. zpracován průzkum hodnotící příčinu vzniku poruch komunikací a zpevněných ploch (Veselý, 2013). V rámci tohoto průzkumu byly provedeny 3 kopané sondy v místě zjištěných poruch (sonda S1 v místě

propadu s živičným povrchem, sonda S2 v místě nespecifikované poruchy betonové plochy a S3 sonda mimo poruchy). V případě sondy S2 v místě poruchy betonu byla zjištěna zcela neúnosná zemní pláň tuhé až měkké konzistence. Ve dvou z těchto sond (S2 a S3) byly zaznamenány intenzivní přítoky vody z konstrukčních vrstev - hladina vody se ustálila 20 - 30 cm pod stávajícím povrchem. Podrobnější popis zlepšené zeminy aktivní zóny zpevněných ploch však není uveden. Příčina vzniku poruch byla shledána v nedostatečném odvodnění zemní pláně v důsledku chybějícího drenážního systému, kdy vlivem zatopení areálu na jaře 2013 došlo k úplnému nasycení konstrukčních nestmelených vrstev, které zůstaly dlouhodobě zatopeny, což vedlo k degradaci zemní pláně. Lokální poklesy zpevněných ploch byly přisouzeny špatně provedeným zásypům kanalizace (Sedlák, 2015).

V roce 2015 bylo společností QUALIFORM a.s. zpracováno odborné posouzení stavu a možných příčin poruch zpevněných ploch komunikací v areálu Mladá Boleslav - Plazy (Sedlák, 2015). Úkolem tohoto posudku bylo zejména zhodnocení kvality provedených stavebních prací (tj. zda byly komunikace v areálu provedeny v souladu s projektovou dokumentací) a také zhodnocení, zda by při dodržení technického řešení dle realizační projektové dokumentace byly škody na komunikacích stejného rozsahu. Podkladem pro tento posudek bylo terénní šetření, projektová dokumentace stavby, Hodnotící zpráva Báňské projekty Teplice z roku 2013, předběžný inženýrskogeologický průzkum z roku 2006, hydrogeologická studie vypracovaná v roce 2014 společností GeoTec GS a.s., Zpráva akreditované laboratoře QUALIFORM a.s. o posouzení vhodnosti zlepšených zemin pro použití do aktivní zóny na stavbě Mladá Boleslav - Plazy, relevantní platné normy, předpisy, technické podmínky, odborná literatura. V rámci provedeného terénního šetření byla provedena vizuální prohlídka stávajících poruch, realizace 8 kopaných sond v místě poruch pro ověření skladby konstrukčních vrstev, aktivní zóny a odběru vzorků zemin pro laboratorní rozbor a zkoušky. Při prohlídce bylo patrné zvlnění komunikace s živičným povrchem, kdy propadnutí a zdvihy nabývaly hodnot přibližně 6 cm. Na komunikacích se též lokálně vyskytovaly trhliny. Kanalizační šachty byly místy oproti okolnímu terénu vystouplé (vlivem nekvalitně provedených zásypů). Propadnutí a zdvihy manipulačních ploch a parkovišť zpevněných zámkovou dlažbou při severní straně areálu nabývalo hodnot až 10 cm. Výškové rozdíly sousedních ploch cementobetonového krytu v místě nájezdových ramp zde byly až 5 cm. V rámci realizace 8 kopaných sond (4 sondy severně, 2 sondy na komunikaci při západním okraji areálu a 2 sondy při jihozápadním okraji areálu) byly odebírány vzorky zemin se zachovalou vlhkostí. Dle posudku byly vzorky odebírány "z původní aktivní zóny

konstrukce vozovky a zpevněné plochy cca 0,4 m pod úrovní pláň". Podrobný popis zemin zastižených v kopaných sondách (upravené zeminy aktivní zóny a jejího podloží) však není v posudku uveden (především případný obsah sádrovce v původní nezlepšené zemině). Dle provedených klasifikačních rozborů se v případě odebraných vzorků jednalo o jíly se střední plasticitou F6 CI (3 vzorky) a hlíny s vysokou plasticitou F7 MH (3 vzorky). Z těchto vzorků byly vytvořeny 2 směsné vzorky, na kterých byly provedeny zkoušky zlepšení pomocí CaO. U obou vzorků byla stanovena hodnota únosnosti CBR při zhutnění na maximální objemovou hmotnost při optimální vlhkosti dle zkoušky Proctor standard s přidáním 1 - 2 - 3 % CaO. Zjištěné hodnoty únosnosti CBR se pohybovaly v rozmezí 7 - 39 % (zeminy F7 MH) a 45 - 76 % (zeminy F6 CI). S ohledem na výsledky laboratorních zkoušek bylo závěrem tohoto posudku konstatováno, že při výstavbě zpevněných ploch a komunikací nedošlo k dostatečnému zlepšení vlastností zemin v aktivní zóně podloží typu P II. Dílčím závěrem posudku bylo rovněž konstatování, že v případě dodržení projektové dokumentace by škody na zpevněných plochách po povodních v roce 2013 v důsledku nasáknutí a bobtnání jílu nebyly takového rozsahu. Pro odvod vod z areálu, a tím i zamezení vzniku dalších podobných poruch komunikací, byla doporučena realizace vhodně situovaných čerpacích studní a rýh.

V roce 2017 byl společností 4G consite, s.r.o. proveden průzkum podloží vozovky zpevněné plochy v místě poruch pro stanovení příčin jejich vzniku (Tomášek, 2017). Podkladem těchto prací byly do té doby provedené průzkumy a posudky. Součástí průzkumu bylo provedení jedné vrtané sondy v místě poruchy komunikace v podobě značně vybouleného živičného povrchu s rozevřenou trhlinou (zpevněná plocha při severním okraji areálu). V průběhu terénních prací bylo provedeno stanovení objemové hmotnosti zastižené zeminy pod aktivní zónou a ověření přítomnosti pojiva v aktivní zóně roztokem fenolftaleinu. Pro laboratorní zkoušky byly odebrány 2 poloporušené vzorky zemin (1 vzorek z aktivní zóny a jeden ze zeminy pod aktivní zónou) a 1 neporušený vzorek zeminy pod aktivní zónou. Na vzorku zeminy z aktivní zóny byla stanovena pouze vlhkost. Na vzorcích zeminy pod aktivní zónou byly provedeny klasifikační rozborů, stanovení vlhkosti, objemové hmotnosti, objemové smršťování a bobtnací tlak. Výsledkem provedených prací bylo konstatování, že hlavní příčinou vzniku poruch vozovky jsou objemové změny zemin (F8 CH-CV) v podloží komunikace (tj. pod aktivní zónou). Výsledky laboratorních zkoušek zjistily u vzorku tuhého až pevného ($I_p = 1,0$) jílu s vysokou plasticitou bobtnací tlak 155 kPa (zkoušený vzorek nahutněn energií 100 % PS). Dále bylo konstatováno, že bobtnání není způsobeno obsahem smektitu (výskyt však nebyl přímo laboratorně ověřen), ale že se jedná o klasické objemové

změny související se změnami vlhkosti. V provedené průzkumné sondě byla v hloubce 0,8 m zastižena podzemní voda (ustálena v hloubce 0,6 m). V případě zeminy aktivní zóny bylo pouze konstatováno, že se jedná o směs jílu F8 CH a písčitého jílu F4 CS (laboratorně neověřeno) upraveného pojivem Dorosol C50 v množství 5 %, který má nepřírozeně vysokou vlhkost 37,1 %. K bobtnání jílu v podloží komunikace dle posudku došlo vlivem přítomnosti vody v hloubce 0,8 m, která způsobila náhlé zvýšení vlhkosti podložních jílu. Další možná příčina vzniku porušení komunikací byla shledána v napjaté hladině podzemní vody, která svým tlakem může způsobit zdvih povrchu komunikací.

4.3.3. Souhrn průzkumných vrtů lokality

Souhrn realizovaných průzkumných jádrových vrtů o celkové metráži 110,0 bm. Umístění a hloubka jednotlivých průzkumných vrtů je navržena s ohledem na rozsah nových projektovaných objektů (halové objekty, komunikace a zpevněné plochy), lokalizaci stávajících poruch komunikací při severním okraji areálu a také poloze archivních průzkumných vrtů (Borši, 2006) Příloha 2. Průzkumné vrty v místě projektovaných nových budov jsou hluboké 8,0 m. Vrty v prostoru projektovaných komunikací a zpevněných ploch i míst se stávajícími poruchami byly provedeny do hloubky 4,0 m. Dva vrty umístěné pod přístřeškem severního okraje objektu jsou hluboké 3,0 m. Přehled realizovaných vrtů je uveden v Tabulka 13.

Označení vrtu	Hloubka [m]	Terén [m n. m.]	Souřadnice [JTSK]	
			Y	X
HV1	8,0	210,96	700 635,16	1 011 607,40
HV2	8,0	211,37	700 301,31	1 011 544,10
HV3	8,0	211,22	700 107,39	1 011 568,63
HV4	4,0	211,48	700 172,02	1 011 687,63
V10	8,0	212,67	700 147,96	1 011 511,14
V11	8,0	211,13	700 188,32	1 011 599,71
V12	8,0	210,92	700 116,55	1 011 624,18
V13	8,0	211,31	700 266,11	1 011 665,07
HV14	4,0	211,21	700 395,44	1 011 538,19
V15	4,0	211,35	700 351,53	1 011 517,39
V16	4,0	210,88	700 414,69	1 011 562,43
HV17	4,0	211,32	700 337,36	1 011 544,88
V18	8,0	211,45	700 472,84	1 011 607,98
V19	4,0	210,91	700 538,52	1 011 662,97
HV20	4,0	211,20	700 458,22	1 011 744,07
V21	4,0	211,36	700 348,72	1 011 770,65
V22	4,0	211,16	700 208,20	1 011 695,63
V23	4,0	211,21	700 067,61	1 011 707,09

V24	3,0	211,30	700 339,48	1 011 549,81
V25	3,0	211,17	700 452,26	1 011 581,84
celkem	110,0 bm			

Tabulka 13: Přehled provedených průzkumných vrtů

Průzkumné vrty byly realizovány pojízdnou vrtnou soupravou typu UGB 50M technologií rotačního jádrového vrtání. Vrtáno bylo jednoduchými jádrovkami osazenými roubíkovými korunkami o průměru 195, 156 a 137 mm. Vrtáno bylo bez použití vrtného výplachu, tj. na sucho. U vrtu HV1 bylo z důvodu zastižení nesoudržných zvodnělých zemin do hloubky 4,60 m použito pracovní pažení průměru 175 mm. V případě vrtů pod přístřeškem objektu (V24 a V25) byla využita malá vrtná souprava na pásech. Tyto vrty byly v úrovni konstrukčních vrstev realizovány rotačně s diamantovou korunkou průměru 156 mm. Pod konstrukčními vrstvami byla použita technologie zarážené jádrovky průměru 90 mm. Hydrogeologické monitorovací vrty (HV) byly opatřeny PVC pažnicí o průměru 110 mm se štěrbínovou perforací v úseku 1,0-3,5 (7,5) m. Část výstroje s perforací byla obsypána kačírskem zrnitosti 6/8 mm. Výstrojná pažnice byla vytažena nad úroveň okolního terénu a opatřena zabetonovaným ochranným uzamykatelným ocelovým zhlavím. V případě monitorovacích vrtů ve stávajících zpevněných plochách (HV14 a HV17) bylo provedeno pojezdové ocelové zhlaví. Ostatní průzkumné vrty byly zlikvidovány prostým záhozem vytěženým materiálem s úpravou terénu do původního stavu. V případě vrtů ve stávajících zpevněných plochách byla provedena betonáž.

4.3.4. Provedené laboratorní práce

V průběhu vrtných prací byly odebírány vzorky zemin a podzemní vody pro laboratorní zkoušky, analýzy a rozbory. Program laboratorních prací byl sestaven s ohledem na definované cíle průzkumných prací v podobě jak určení geotechnických vlastností zemin a hornin pro možnost zhodnocení základových poměrů a realizace zemních prací, tak i zjištění příčiny vzniku poruch zpevněných ploch a komunikací při severním okraji areálu. Přehled odebraných vzorků a provedených laboratorních prací je uveden v Tabulka 14.

Označení vrtu	Hloubka odběru [m]	Typ vzorku	Klasifikační rozbor	Objemová hmotnost	Stlačitelnost	Bobtnací tlak	Únosnost CBR	Volné bobtnání	Proctor standard	Namrzavost	Chemický rozbor zeminy	Chemický rozbor vody	Silikátová analýza	Rentgenová difrakce
HV1	1,3 – 1,7	NV	X	X			X							
HV1	3,4 – 3,6	PV	X											
HV2	1,0 – 1,5	TPV	X											
HV2	1,5 – 1,7	NV	X	X	X	X								
HV3	1,2 – 1,7	TPV	X											
HV4	1,1 – 1,3	NV	X	X										
V10	2,0 – 2,4	NV	X	X			X							
V10	2,7 – 3,0	NV	X	X										
V11	1,3 – 2,2	TPV	X											
V12	1,3 – 1,6	TPV	X											
V12	1,6 – 1,8	NV	X	X	X	X								
V13	2,6 – 2,8	NV	X	X										
HV14	0,8 – 1,0	NV	X	X		X							X	X
HV14	1,0 – 1,3	NV	X	X									X	X
V18	1,8 – 2,0	NV	X	X	X	X								
V19	1,8 – 1,9	NV	X	X										
HV20	1,5 – 2,2	TPV	X											
V21	1,0 – 1,6	TPV	X	X										
HV2 + V11	1,0 – 2,2	SV					X		X		X			
HV2 + V11	1,0 – 2,2	SVP				X	X	X		X			X	X
V12 + HV3	1,3 – 1,7	SV					X		X		X			
V12 + HV3	1,3 – 1,7	SVP				X	X	X		X				
HV20 + V21	1,0 – 2,2	SV					X		X					
HV + V21	1,0 – 2,2	SVP					X							
HV1	1,7 – 1,8	VV										X		
HV2	2,3 – 2,4	VV										X		
HV3	0,7 – 0,8	VV										X		
HV4	1,5 – 1,6	VV										X		
celkem														

Typ vzorku: PV – porušený vzorek zeminy; NV – neporušený vzorek zeminy; TPV – technologický vzorek zeminy; SV – směsný vzorek zeminy; SVP – směsný vzorek zeminy upravený pojivem Georoad v množství 2% - 4% - 6%; VV – vzorek podzemní vody

Tabulka 14: Přehled vzorků a provedených laboratorních zkoušek, analýz a rozborů

4.3.5. Geomechanické a geotechnické rozborů a zkoušky zemín

Z provedených průzkumných vrtů bylo odebráno celkem 12 neporušených, 6 technologických a 1 porušený vzorek zeminy. Pro určení základních fyzikálních vlastností a zařídění zemín dle platných norem (ČSN 736133, ČSN EN ISO 14688-2 a ČSN P 73 1005) byly na všech vzorcích provedeny základní klasifikační rozborů (vlhkost, zrnitost, konzistenční meze). Na

neporušených vzorcích byla dále určena objemová hmotnost, zdánlivá hustota pevných částic a pórovitost. Pro určení deformačních vlastností byly na neporušených vzorcích provedeny zkoušky stlačitelnosti v edometru včetně stanovení bobtnacího tlaku. Bobtnací tlak v edometru byl rovněž stanoven na neporušeném vzorku stabilizované zeminy v místě poruchy zpevněné plochy (HV14: 0,8-1,0 m).

V rámci geotechnických zkoušek pro zhodnocení provádění zemních prací a návrhu úpravy aktivní zóny komunikací a podlah projektovaných hal byly z 6 technologických vzorků zhotoveny 3 směsné vzorky (HV2+V11: 1,0-2,2 m; V12+HV3: 1,3-1,7 m a HV20+V21: 1,0-2,2 m). Pro určení optimální vlhkosti a maximální objemové hmotnosti zemin byly na těchto vzorcích provedeny zkoušky zhutnitelnosti Proctor standard. Pro zhodnocení únosnosti zemin (tj. jejich vhodnosti) v podloží vozovky dle ČSN 73 6133 a související návrh tloušťky upravené aktivní zóny byly na těchto vzorcích provedeny zkoušky CBR. Zkoušky byly provedeny na zemině s přirozenou vlhkostí, zhutněné energií 100 % PS a sycené po dobu ~6 h. Obdobné zkoušky únosnosti CBR byly rovněž provedeny na dalších 2 vzorcích zemin z předpokládané úrovně aktivní zóny (V1 O: 2,0-2,4 m a HV1: 1,3-1,7 m).

4.3.6. Chemické a mineralogické analýzy zemin

V souvislosti s řešením problematiky vzniku poruch stávajících komunikací návrhem na zlepšení zemin v aktivní zóně nově projektovaných objektů i podmínek ochrany stavebních konstrukcí proti účinkům chemicky agresivního prostředí byly součástí laboratorních prací také analýzy pro zjištění celkového chemického složení zemin, zastoupení jednotlivých minerálních fází a určení dalších chemických ukazatelů (agresivita na beton a ocel).

Na dvou vzorcích jílovité zeminy s makroskopicky odlišným obsahem sádrovce byly dále provedeny základní chemické rozbory pro stavební účely (Chemické působení na beton dle ČSN EN 206+A 1, tab. 2 - stanovení obsahu síranů a kyselosti dle Baumann-Gully; Ochrana kovových potrubí dle ČSN 03 8375 - stanovení celkové síry, chloru, pH a sušiny). Tyto chemické rozbory byly provedeny v akreditované laboratoři společnosti AQUATEST v Praze. Za tímto účelem byly na třech vzorcích zeminy (jeden vzorek původního jílu a dva vzorky identického jílu upravené různými pojivy) provedeny úplné silikátové analýzy pro stanovení obsahu základních prvků (jejich oxidů) a dalších vybraných ukazatelů. Tyto geochemické analýzy byly provedeny v akreditované Centrální laboratoři České geologické služby v Praze. Na stejných třech vzorcích zeminy byly dále provedeny analýzy rentgenovou difrakcí pro

stanovení kvantitativního a kvalitativního fázového (mineralogického) složení zemin. Tyto analýzy byly provedeny v laboratoři Přírodovědecké fakulty Masarykovy Univerzity v Brně.

4.3.7. Chemické rozbory podzemní vody

Pro určení chemického složení a související agresivity podzemní vody na beton byly na čtyřech vzorcích provedeny zkrácené chemické rozbory pro stavební účely (hodnocení dle ČSN EN 206+A 1, tab. 2). Tyto rozbory byly provedeny v akreditované laboratoři společnosti AQUATEST Praha.

4.3.8. Hydrogeologické práce a monitoring

Pro ověření hydrogeologických poměrů byly v průběhu vrtání zaznamenávány údaje o naražené a ustálené hladině podzemní vody. Naražená hladina byla zaznamenávána vrtnou osádkou v průběhu vrtání. Ustálená hladina v nevystrojených vrtech byla změřena až před jejich likvidací (po 2 - 24 h). Ve vystrojených monitorovacích vrtech bylo provedeno základní měření, osazení a kalibrace čidel pro sledování kolísání hladiny (Ileveloger). V jednom vrtu bylo rovněž osazeno čidlo pro měření kolísání atmosférického tlaku vzduchu (barologger) a možnost vyhodnocování vlivu tlaku vzduchu na kolísání hladiny ve vrtech. Frekvence odečtu údajů byla stanovena na měření po 1 h. Odečty dat z čidel budou prováděny dle požadavku provozovatele areálu.

4.4. Výsledky průzkumných prací

4.4.1. Inženýrskogeologické poměry

V rámci realizace průzkumných vrtů byly v zájmovém území zastiženy jak horniny předkvartérního podkladu, tak i zeminy kvartérních pokryvných útvarů. V místě stávajících zpevněných ploch byly dále zastiženy konstrukční vrstvy a stabilizovaná zemina aktivní zóny.

Předkvartérní podklad je v rozsahu celého území tvořen subhorizontálně uloženými sedimentárními horninami křídového stáří v podobě slínovců teplického souvrství. V nezvětralém stavu jsou slínovce tmavě šedé, tenké deskovité s mocností vrstev zhruba do 50-70 mm, středně rozpukané. Pevnost slabě zvětralé a zdravé horniny je převážně velmi nízká až nízká, dle normy ČSN 73 6133 hodnocena třídou R5 - R4. Slabě zvětralé slínovce jsou hnědošedé, často s rezavými limonitickými povlaky na puklinách. Rozpad horniny je deskovitý až kosoúhlý s velikostí horninových úlomků v rozmezí nejčastěji 50-150 mm. Povrch slabě zvětralých slínovců je v zájmovém území poměrně stálý a v průzkumných

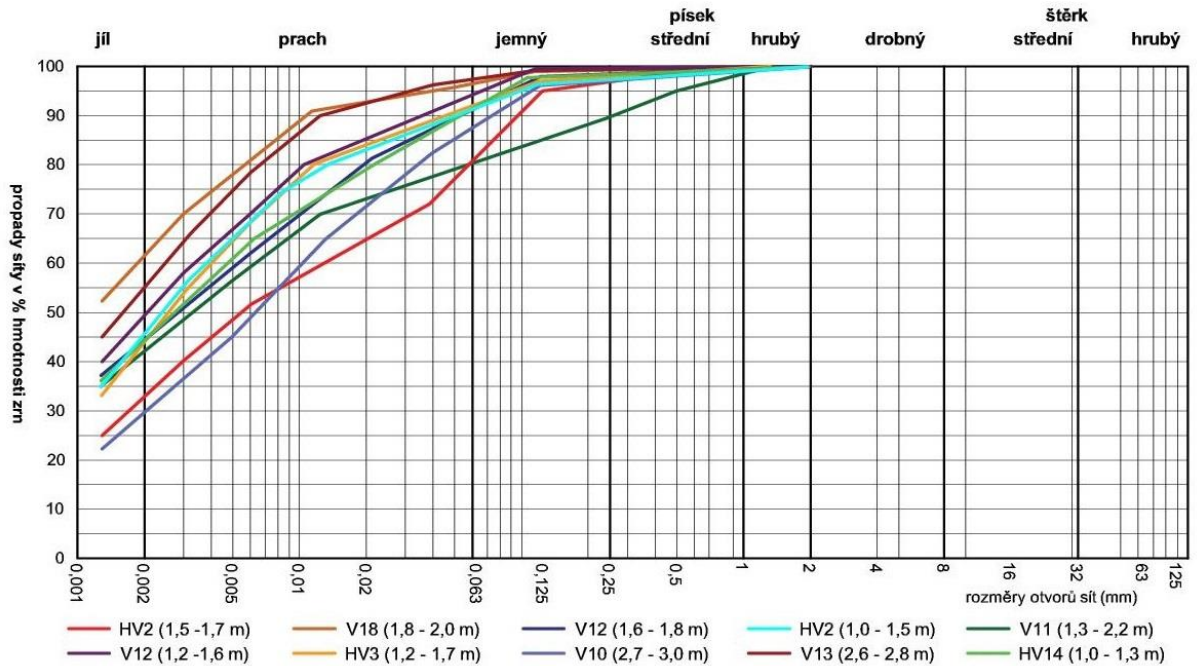
vrtech (nových i archivních) se pohybuje v rozmezí nadmořské výšky 206,2 - 208,6 m. n. m. (na nižší úrovni 204,2 m. n. m. zastížen pouze při západním okraji území ve vrtu HV1).

Směrem do nadloží jsou slínovce postupně intenzivněji zvětralé a rozpukané. Slínovce velmi až mírně zvětralé jsou převážně hnědošedé, hnědé až rezavě hnědé, tenké deskovité, silně rozpukané, rozpadavé v drobné deskovité a kosoúhlé úlomky velikosti nejčastěji 20-50 mm. Ve svrchních polohách je hornina často rozvolněna s pevnou jílovitou výplní mezi úlomky. Na puklinách se hojně vyskytují limonitické povlaky. Místy se vyskytují drobné krystalky sádrovce (některé velikosti ojedinele až 2,0-3,0 cm). Pevnost velmi až mírně zvětralých slínovců je převážně extrémně nízká až velmi nízká, dle normy ČSN 736133 hodnocena třídou R6 - R5. Mocnost této polohy zvětralých slínovců se v průzkumných vrtech pohybuje v rozmezí 0,4 - 1,7 m.

Nejsvrchnější polohu křídového podloží tvoří slínovce zcela zvětralé až rozložené. Jejich barva je zpravidla šedohnědá, hnědá a rezavě hnědá. Rozložené slínovce mají charakter pevného jílu s vysokou plasticitou (F8 CV) bez patrné původní struktury horniny. Směrem do podloží pak pozvolna přecházejí do zcela zvětralých slínovců charakteru pevného jílu se strukturou drobných destičkovitých úlomků, jejichž velikost i pevnost s hloubkou postupně narůstá (od pevného jílu až po horninu extrémně nízké pevnosti R6). V nejsvrchnějších polohách se často vyskytuje drobně krystalický sádrovec ve formě ojedinelých větších krystalků až tenkých žilek. Mocnost polohy zcela zvětralých a rozložených slínovců se v průzkumných vrtech pohybuje v rozmezí 0,3-1,8 m.

Kvartérní pokryvné útvary jsou v zájmovém území zastoupeny deluviálními, deluvio-fluviálními a fluviálními sedimenty, humózním horizontem a antropogenními navážkami. Deluviální sedimenty svým charakterem odpovídají původní, svahovými pohyby přemístěné hornině, v podobě zcela zvětralých až rozložených slínovců. Mají podobu zpravidla hnědých, rezavě hnědých a šedohnědých, zpravidla šedě a rezavě smouhovaných, vápnitých pevných jílu s velmi vysokou až vysokou plasticitou (F8 CV - CH). V bazálních polohách neostře přecházejí do slabě přemístěných rozložených slínovců, které jsou svou podobou i geotechnickým charakterem deluviím velmi podobné. Typické zrnitostní křivky deluviálních, deluvio-eluviálních a eluviálních jílu jsou uvedené na Obrázek 8. Ve spodních polohách se u deluviálních jílu hojně vyskytují tenké žilky až polohy drobně krystalického sádrovce (píscitá frakce v zrnitostních křivkách). Výskyt těchto zemin je soustředěn především na severní a severovýchodní část území, kde se jejich mocnost pohybuje v rozmezí 0,6-1,8 m. Směrem k

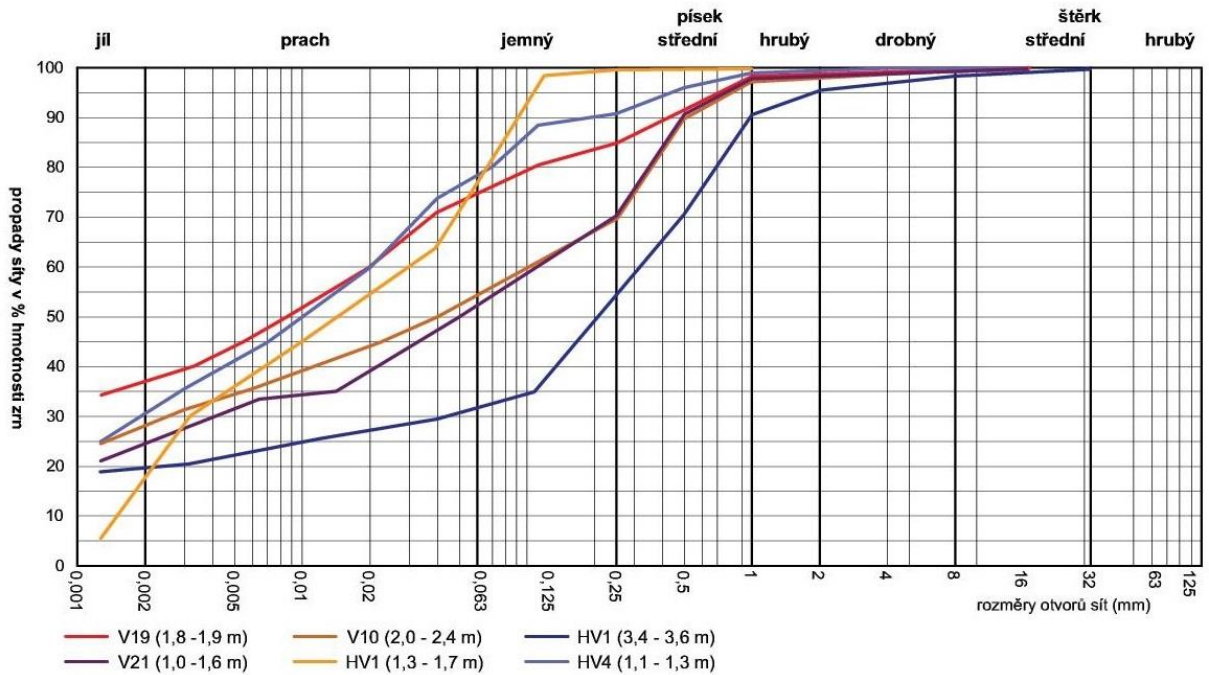
jihu a jihozápadu pak jejich mocnost pozvolna ubývá a v prostoru původního koryta potoka je jejich mocnost již zpravidla minimální do 0,5 m.



Obrázek 8: Zrnitostní křivky deluviálních, deluvio-eluviálních a eluviálních zemin

Deluvio-fluviální sedimenty představují svahovými pohyby a vodou přemístěné zemin (oproti deluviálním sedimentům rychlejší pohyby i vzdálenost přesunu). Jejich zrnitostní složení je tak závislé jak na podložních zeminách, tak i zeminách v blízkém okolí lokality, na jejich morfologické pozici vůči zdrojovému materiálu, způsobu a délce transportu. Celkově se tak jedná o poměrně zrnitostně nehomogenní polohu. Nejčastěji jsou zastoupeny prachovité jíly se střední plasticitou F6 CL (ve spodních polohách až plasticitou vysokou). Jejich barva je poměrně pestrá (žlutohnědé, hnědošedé, rezavé, světle šedé, smouhované). Ve svrchních polohách se často vyskytují bělavé vápnitě povlaky. Tyto jíly pevné konzistence často nepravidelně přecházejí do slabě až silně písčitých jílov konzistence tuhé až pevné. Písčitá složka je zpravidla jemná až střední, ojediněle jsou přítomny drobné valounky křemene do 2,0-3,0 cm. Nepravidelně se vyskytují i polohy silně až slabě jílovitých písků, zpravidla žlutohnědé až rezavé barvy. Velikost písčité frakce je převážně střední až hrubá. Mocnost těchto písčitých poloh se v nově provedených vrtech pohybuje do 0,3-0,4 m (v archivních vrtech ale i více). Přejít bazálních poloh jílovitých deluvio-fluviálních sedimentů do deluvií velmi podobného charakteru je zpravidla nezřetelný. Typické zrnitostní křivky deluvio-fluviálních zemin jsou uvedené na Obrázek 9. V nižších polohách deluvio-fluviálních sedimentů se rovněž hojně vyskytují tenké žilky až polohy drobně krystalického sádrovce. Výskyt těchto zemin je soustředěn především na jižní a jihozápadní část území v prostoru

původního koryta potoka, kde se jejich mocnost zpravidla pohybuje v rozmezí 0,5-2,7 m. Směrem k severu a severovýchodu pak jejich mocnost pozvolna ubývá.



Obrázek 9: zrnitostní křivky, deluvio-fluviálních a fluviálních zemín

Fluviální sedimenty byly zastiženy pouze v západní části území v blízkosti stávajícího koryta potoka v průzkumném vrtu V19 v hloubkové úrovni 0,4-2,6 m. Jedná se o tmavě hnědošedý až černošedý jílu se střední až vysokou plasticitou, v polohách slabě písčité s příměsí drobných valounků, s hojnou organickou příměsí (cca 2,9 %), který se nepravidelně střídá s polohami žlutohnědého jílu bez organické příměsí. Konzistence těchto zemín byla v době provádění průzkumu svrchu omezeně pevná, v nižších polohách pak tuhá i měkká.

Nejsvrchnější poloha kvartérních zemín je v převážné části území (mimo stávající zpevněné plochy) tvořena humózním horizontem (ornicí). Jedná se o tmavě hnědošedou až černošedou jílovitou hlínu, v polohách slabě písčitou, s vysokým podílem organické složky. Mocnost této polohy se v průzkumných vrtech pohybuje v rozmezí 0,1-1,0 m. Antropogenní navážky se vyskytují především v prostoru budoucího objektu haly, kde mají podobu hromad až hald mocnosti do 5,0-6,0 m. Jejich složení je značně nehomogenní. Zastoupena je humózní hlína skrytá z okolních pozemků, jílovitý, písčité a kamenitý materiál z terénních úprav výstavby stávajících objektů areálu. Omezený výskyt navážek je soustředěn také do prostoru v okolí stávajících objektů a komunikací.

S ohledem na umístění průzkumných vrtů do prostoru stávajících komunikací a zpevněných ploch byly zastiženy i jejich konstrukční vrstvy a upravená zemina aktivní zóny. V místě

ploch s živičným povrchem (V16 a HV17) jsou konstrukční vrstvy zastoupené asfaltobetonovou obrusnou a ložnou vrstvou (tl. 100-120 mm), cementem stmeleným kamenivem (tl. 100-120 mm) a štěrkostráfrí frakce 0/32 (tl. 100-300 mm). V místě ploch s betonovým povrchem (HV14, V15, V24 a V25) jsou konstrukční vrstvy zastoupené železobetonovou deskou (tl. 200-230 mm), cementem stmeleným kamenivem (tl. 100-120 mm) a štěrkostráfrí frakce 0/32 (tl. 100-300 mm).

Předběžný archivní inženýrsko-geologický průzkum (Borši, 2006) definuje aktivní zónu komunikací zeminou podle klasifikace ČSN 72 1002 jako: písčité jíly F6 CI – F4 CS, písek jílovitý – S5/SC. Z hlediska vhodnosti do podloží komunikace jsou tyto hodnoceny jako zeminy jílovité nebo zeminy s vysokým podílem jílové frakce, nebezpečně namrzavé. Vysoko uložená hladina podzemní vody společně s vysokou kapilární výškou těchto zemin předurčuje velmi nepříznivý kapilární režim. Zeminy jsou na hranici použitelnosti v aktivní zóně. Laboratorně zjištěná hodnota CBR (Příloha C) ukazuje, že u zeminy nebude možno dosáhnout požadované únosnosti bez úprav. Navržena byla úprava pomocí 2% CaO a laboratorně ověřena zvýšením hodnoty CBR na 14,33% resp. 32,39%.

Zemina aktivní zóny komunikací a zpevněných ploch byla dle poskytnutých informací realizována zlepšením původní zeminy (písčitéch jílů a jílů s vysokou až velmi vysokou plasticitou) příměsí vápenné (4 % CaO) a cemento-vápenné (5 % Dorosol C50) stabilizace. V průzkumných vrtech v místě poruch (vyboulený povrch) měla zemina aktivní zóny charakter světle hnědošedé hlíny (prachovitého jílu) až písčité hlíny s velmi vysokou plasticitou (F7 MV až F3 MS), slabě vápnité, tuhé konzistence, s vysokou vlhkostí (53,3-59,9 %), vysokou pórovitostí (65 %) a velmi nízkou objemovou hmotností (vlhká 1544 kg/m³, suchá 965 kg/m³). Mocnost stabilizované zeminy (ověřeno roztokem fenolftaleinu) se v průzkumných vrtech pohybovala v rozmezí od 0,10 m (V15 - méně výrazná porucha) po 0,60 m (HV14 a HV15 - významné vyboulení povrchu). V průzkumných vrtech mimo zjevné poruchy měla zemina aktivní zóny dle makroskopického popisu charakter světle hnědé až šedohnědé hlíny (prachovitého jílu) až písčitoštěrkovité hlíny s velmi vysokou plasticitou (F7 MV až F3 MS), převážně tvrdé konzistence (úlomky zlepšené zeminy rukou obtížně drtitelné i lámateľné), místy až pevné konzistence, slabě vápnité, s ověřenou mocností 0,30-0,60 m.

4.4.2. Charakteristika geotechnických typů zemin a hornin

Na základě makroskopického popisu průzkumných vrtů a výsledků laboratorních zkoušek byly v zájmovém území vyčleněny jednotlivé typy zemin a hornin s obdobnými

geotechnickými vlastnostmi. Jejich přehled s označením a základním popisem je uveden v následující Tabulka 15. Podrobný popis je pak uveden dále v textu této kapitoly.

Geotechnický typ		Geologické stáří	Stručný popis	Zatřídění dle ČSN 73 6133
Označení	Název			
An	Antropogenní navážky	recent	Různorodé navážky - jílovité, písčité, kamenité, stavební odpad, ornice	Y
H	Humózní horizont	kvartér (holocén)	Hlína jílovitá, místy slabě písčité, silně humózní	F5 MI
Fo	Fluviální organické sedimenty	kvartér(holocén)	Jíly se střední až vysokou plasticitou, v polohách písčité, se silnou organickou příměsí, měkké a tuhé	F6 CI – F8 CH (F4 CS)
Df	Deluvio-fluviální jílovité a písčitojílovité sedimenty	kvartér(holocén)	Jíly se střední plasticitou, písčité jíly, jílovité písky, tuhé a pevné, v polohách místy se sádrovcem	F6 CI, F4 CS, S5 SC (S3 S-F)
D	Deluviální a deluvio - eluviální jílovité sedimenty	Kvartér (pleistocén-holocén)	Jíly s vysokou až velmi vysokou plasticitou, pevné, vápnité, v četných polohách se sádrovcem	F8 CH - CV
Se	Slínovce zcela zvětralé a rozložené	křída (teplické souvrství)	Slínovce zcela zvětralé až rozložené, ve svrchních polohách charakteru pevného jílu s velmi vysokou plasticitou, níže rozpadavé v drobné úlomky rukou roztíratelné až drtitelné, ve svrchních polohách místy se sádrovcem	F8 CV (R6)
Sz	Slínovce velmi až mírně zvětralé	křída (teplické souvrství)	Slínovce velmi až mírně zvětralé, tence deskovité, silně rozpukané, při povrchu rozvolněné s pevnou jílovitou výplní, rukou snadno lámavé	R6 - R5
Sn	Slínovce slabě zvětralé a zdravé	křída (teplické souvrství)	Slínovce slabě zvětralé až zdravé, tence deskovité, středně rozpukané, rukou středně těžce až obtížně lámavé	R5 - R4

Tabulka 15: Přehled vyčleněných geotechnických typů zemín a hornin

An - Antropogenní navážky

- geneze: antropogenní
- stáří: recent

Základní popis:

- navážky variabilního zrnitostního složení (jílovité, písčitojílovité, hlinitokamenité, humózní, s příměsí stavebního odpadu - cihly, beton, kamenivo), konzistence (tuhé až tvrdé) a barvy (šedé, hnědošedé, tmavě šedohnědé)

Výskyt a dokumentovaná mocnost:

- omezený výskyt v okolí stávajících zpevněných ploch a budov - navážky vzniklé v rámci hrubých terénních úprav areálu, dokumentovaná mocnost 0,2-0,8 m
- zásyp výkopu meliorace (zastižen ve vrtu V19 s celkovou mocností 1,2 m)

Zvláštní geotechnické vlastnosti:

- geotechnické vlastnosti vzhledem k variabilitě materiálu značně různorodé

Zatřídění zemin:

vrtatelnost pro vrty pro piloty:

I.

těžitelnost dle ČSN 73 6133:

I. - II.

zatřídění dle ČSN 736133:

Y (značně nehomogenní)

Vhodnost zemin pro pozemní komunikace:

vhodnost do násypu dle ČSN 736133

individuální posouzení

vhodnost pro aktivní zónu dle ČSN 736133

individuální posouzení

GT2-H - Humózní horizont

- geneze: půdní horizont
- stáří: kvartér (holocén)

Základní popis zemin:

- hlína jílovitá, místy slabě písčitá, tmavě hnědošedá až černošedá, při povrchu tvrdá, níže pevná, silně humózní

Výskyt a dokumentovaná mocnost:

- zastižena ve všech nových průzkumných vrtech mimo stávající zpevněné plochy a komunikace s proměnlivou mocností v rozmezí 0,1-1,0 m

Zvláštní geotechnické vlastnosti:

- vysoký podíl organických látek

Zatřídění zemin:

vrtatelnost pro vrty pro piloty:

I.

těžitelnost dle ČSN 73 6133:

I.

zatřídění dle ČSN 736133:

F5 MI

Vhodnost zemin pro pozemní komunikace:

- vhodnost do násypu dle ČSN 736133 **nepoužitelné**
- vhodnost pro aktivní zónu dle ČSN 736133 **nepoužitelné**

GT3 - Fo - Fluviální organické sedimenty

- geneze: fluviální
- stáří: kvartér (holocén)

Základní popis zemin:

- jíl se střední až vysokou plasticitou, tmavě hnědošedý až černošedý, s vysokým podílem organických látek a bahným zápachem, ve střídání s polohami světle žlutohnědého jílu bez organické příměsi, místy s ojedinělými drobnými valounky do 1.0-2.0 cm, v podružných polohách písčité, vápnitý, ve svrchních polohách omezeně pevný (penetrační odpor 250-400 kPa), ve spodních polohách tuhý (penetrační odpor 150-200 kPa) i měkký (penetrační odpor 50-120 kPa)

Výskyt a dokumentovaná mocnost:

- zastíženy pouze v západní části zájmového území v blízkosti stávajícího koryta potoka v novém průzkumném vrtu V19 v hloubkové úrovni 0,4-2,6 m

Zvláštní geotechnické vlastnosti:

- nebezpečně namrzavé, náchylné ke znehodnocení vlivem vody i klimatických činitelů, náchylné k mechanickému znehodnocení pohybem stavební mechanizace, vysoký podíl organických látek (celkový stanovený obsah 2,9 %), vzhledem k zrnitostnímu složení (středně až vysoce plastické jíly) a vysoké vlhkosti (konzistence tuhá i měkká) ve spodních polohách s velmi nízkou únosností

Zatřídění zemin:

- vrtatelnost pro vrty pro piloty: **I.**
- těžitelnost dle ČSN 736133: **I.**
- zatřídění dle ČSN 736133: **F6 CI - FS CH (F4 CS)**

Vhodnost zemin pro pozemní komunikace:

- vhodnost do násypu dle ČSN 73 6133 **nevhodné**
- vhodnost pro aktivní zónu dle ČSN 736133 **nevhodné**

GT4 - Df - Deluvio-fluviální jílovité a písčitojilovité sedimenty

- geneze: deluvio-fluviální
- stáří: kvartér (holocén)

Základní popis zemin:

- jíl se střední plasticitou (v bazálních polohách místy až vysokou), prachovitý, žlutohnědý, hnědošedý, rezavý, světle šedý, smouhovaný, vápnitý, ve svrchních polohách často s bělavými vápnitými povlaky, místy s drobnými žilkami až polohami drobně krystalického sádrovce, s častými polohami a pozvolnými přechody do slabě až silně písčitého jílu (písčítá složka převážně jemná až střední), místy s příměsí drobných valounků do 2,0-3,0cm, s nepravidelnými omezenými polohami silně až slabě jílovitého písku, středně až hrubě zrnitého, hnědého a rezavě hnědého
- konzistence jílovitých poloh pevná (penetrační odpor v rozmezí 200-300 kPa), konzistence písčitojilovitých poloh tuhá až pevná (penetrační odpor 180-220 kPa), v blízkosti zvodnělých písčitých poloh tuhá (penetrační odpor 140-180 kPa)

Výskyt a dokumentovaná mocnost:

- deluvio-fluviální jílovité a písčité sedimenty zastíženy zejména při jižním a západním okraji zájmového území v okolí stávajícího koryta potoka, v průzkumných vrtech zde zastíženy s celkovou mocností v rozmezí 0,5-2,7 m

Zvláštní geotechnické vlastnosti:

- jíly a písčité jíly vysoce až nebezpečně namrzavé, náchylné ke znehodnocení vlivem vody i klimatických činitelů, náchylné k mechanickému znehodnocení pohybem stavební mechanizace, jílovité písky nebezpečně namrzavé
- v případě jílovitých poloh s vysokým obsahem síranů (sádrovce) zcela nevhodná úprava pomocí pojiv s obsahem CaO

Zatřídění zemin:

- | | |
|------------------------------------|--|
| – vrtatelnost pro vrty pro piloty: | I. (II. - zvodnělé písky) |
| – těžitelnost dle ČSN 736133: | I. |
| – zatřídění dle ČSN 736133: | F6 CI (F8 CH), F4 CS
S5 SC (S3 S-F) |

Vhodnost zemin pro pozemní komunikace:

- | | |
|--|--|
| – vhodnost do násypu dle ČSN 73 6133 | podmínečně vhodné |
| – vhodnost pro aktivní zónu dle ČSN 736133 | podmínečně vhodné až
nevhodné |

GT5-D - Deluviální a deluvio-eluviální jílovité sedimenty

- geneze: deluviální a deluvio-eluviální
- stáří: kvartér (pleistocén-holocén)

Základní popis zemin:

- jíl s vysokou až velmi vysokou plasticitou, hnědý, rezavě hnědý, šedohnědý a hnědošedý, často rezavě a šedě smouhovaný, vápnitý, ve svrchních polohách místy s bělavými vápnitými povlaky, konzistence převážně pevná (penetrační odpor v rozmezí 200-350kPa), často s tenkými žilkami až polohami drobně krystalického sádrovce, při bázi s pozvolným přechodem do zvětralin slínovců

Výskyt a dokumentovaná mocnost:

- deluviální a deluvio-eluviální jílovité sedimenty zastiženy v převážné části zájmového území, v průzkumných vrtech zastiženy s mocností v rozmezí 0,6-1,8 m
- při jižním a západním okraji zájmového území v okolí stávajícího koryta potoka zastiženy s omezenou mocností do 0,5 m

Zvláštní geotechnické vlastnosti:

- vysoce až nebezpečně namrzavé, náchylné k objemovým změnám při změně vlhkosti, náchylné ke znehodnocení vlivem vody i klimatických činitelů, náchylné k mechanickému znehodnocení pohybem stavební mechanizace
- vzhledem k jílovitému charakteru a často vysokému obsahu síranů (sádrovce) zcela nevhodná úprava pomocí pojiv s obsahem CaO

Zatřídění zemin:

- vrtatelnost pro vrty pro piloty: **I.**
- těžitelnost dle ČSN 736133: **I.**
- zatřídění dle ČSN 73 6133: **FS CH-CV**

Vhodnost zemin pro pozemní komunikace:

- vhodnost do násypu dle ČSN 736133 **nevhodné**
- vhodnost pro aktivní zónu dle ČSN 73 6133 **nevhodné**

GT6 - Se - slínovce zcela zvětralé a rozložené

- geneze: sedimentární - mořská
- stáří: křída (turon-coniak) - teplické souvrství

Základní popis horniny a masivu:

- slínovce zcela zvětralé a rozložené, hnědé, rezavě hnědé, hnědošedé, eluvia charakteru pevného jílu s velmi vysokou plasticitou, zcela zvětralé slínovce charakteru jílu s patrnou původní strukturou horniny, směrem do podloží postupně s drobnými destičkovitými pevnějšími úlomky (charakteru pevného jílu až horniny s extrémně nízkou pevností - rukou snadno roztíratelné až drtitelné), ve svrchních polohách často s tenkými žilkami drobně krystalického sádrovce

Výskyt a dokumentovaná mocnost:

- výskyt v celém zájmovém území, v průzkumných vrtech povrch (báze kvartéru) zastížen v hloubce 0,7-4,0 m (nadmořská výška 207,2-210,6 m n. m.), ověřená mocnost v rozmezí 0,3-1,8 m

Zvláštní geotechnické vlastnosti:

- vysoce až nebezpečně namrzavé, náchylné k objemovým změnám při změně vlhkosti, náchylné k znehodnocení vlivem vody i klimatických činitelů, náchylné k mechanickému znehodnocení pohybem stavební mechanizace
- vzhledem k jílovitému charakteru a často vysokému obsahu síranů (sádrovce) zcela nevhodná úprava pomocí pojiv s obsahem CaO

Zatřídění horniny:

- vrtatelnost pro vrty pro piloty: **I.**
- těžitelnost dle ČSN 736133: **I.**
- zatřídění dle ČSN 736133: **FS ev. (R6)**

Vhodnost zemin pro pozemní komunikace:

- vhodnost do násypu dle ČSN 736133 **nevhodné**
- vhodnost pro aktivní zónu dle ČSN 736133 **nevhodné**

Klasifikace horninového masivu:

- střední hustota diskontinuit: **< 20mm**

GT7 - Sz - slínovce velmi a mírně zvětralé

- geneze: sedimentární - mořská
- stáří: křída (turon-coniak) - teplické souvrství

Základní popis horniny a masivu:

- slínovce velmi až mírně zvětralé, hnědé, rezavě hnědé, hnědošedé, tenké deskovitě vrstevnaté, subhorizontálně uložené, silně rozpukané, rozpadavé v drobné deskovité a kosoúhlé úlomky, ve svrchních polohách rozvolněné s pevnou jílovitou výplní mezi úlomky, s limonitickými povlaky podél diskontinuit, místy s ojedinělými krystalky sádrovce

Výskyt a dokumentovaná mocnost:

- výskyt v celém zájmovém území, v průzkumných vrtech povrch zastižen v hloubce 1,8-5,6m (nadmořská výška 205,4-209,5 m n. rn.), ověřená mocnost v rozmezí 0,4-1,7m

Použitelnost výkopku:

- výkopek drobně úlomkovitý s jílovitou příměsí, náchylný k degradaci vlivem účinků klimatu a vody, podmíněčně zpracovatelný do nenáročných násypů a zásypů

Zatřídění horniny:

- vrtatelnost pro vrty pro piloty: **I. - II.**
- těžitelnost dle ČSN 736133: **I.**
- zatřídění dle ČSN 736133: **R6-R5**

Klasifikace horninového masivu:

- střední hustota diskontinuit: **20 - 50 mm**
- The Geological Strength Index GSI: **15 - 25**

GT8 - Sn - slínovce slabě zvětralé a zdravé

- geneze: sedimentární - mořská
- stáří: křída (turon-coniak) - teplické souvrství

Základní popis horniny a masivu:

- slínovce slabě zvětralé a zdravé, tmavě hnědošedé a šedé, tence deskovitě vrstevnaté, subhorizontálně uložené, středně rozpukané, rozpadavé v deskovité až kosoúhlé úlomky, ve svrchních polohách s limonitickými povlaky podél diskontinuit, místy s ojedinělými krystalky sádrovce

Výskyt a dokumentovaná mocnost:

- výskyt v celém zájmovém území, v průzkumných vrtech povrch zastížen v hloubce 3,0-6,8m (nadmořská výška 204,2-208,6 m n. m)

Použitelnost výkopku:

- výkopek kusovitý, náchylný k degradaci vlivem účinků klimatu a vody, vysoký stupeň nakypření výkopku v závislosti na technologii těžby, podmíněčně zpracovatelný do nenáročných násypů a zásypů po vhodné úpravě zrnitosti

Zatřídění horniny:

- vrtatelnost pro vrty pro piloty: **II.**
- těžitelnost dle ČSN 736133: **I.**
- zatřídění dle ČSN 736133: **R5-R4**

Klasifikace horninového masivu:

- střední hustota diskontinuit: **50 -150mm**
- The Geological Strength Index GSI: **25 - 35**

Přehled průzkumných vrtů s popisem geotechnických typů je uveden v Tabulka 16.

Označení vrtu	Mocnost a povrch jednotlivých geotechnických typů zemin a hornin								
	antropogén		kvartér				křída		
	K+St	An	H	Fo	Df	D	Se	Sz	Sn
HV1	-	-	1,0	-	2,7	0,1	1,8	1,2	204,2
HV2	-	-	0,2	-	-	1,5	0,3	1,2	208,2
HV3	-	-	0,5	-	0,7	0,75	0,75	0,8	207,7
HV4	-	0,4	0,4	-	1,5	0,4	0,7	>0,6	-
V10	-	1,5	0,4	-	-	0,8	0,8	1,5	207,7
V11	-	-	0,4	-	-	1,8	0,5	0,8	207,6
V12	-	0,2	0,1	-	1,0	0,35	1,7	0,9	206,7
V13	0,2	0,4	-	-	1,9	0,5	1,0	1,0	206,3
HV14	1,0	-	-	-	-	0,2	0,9	0,9	208,2
V15	0,5	-	-	-	-	0,2	1,3	1,1	208,2
V16	0,6	-	-	-	-	0,3	1,1	1,2	207,7
HV17	1,1	-	-	-	-	0,2	0,5	1,4	208,1
V18	-	-	0,4	-	0,8	0,6	0,8	1,2	207,6
V19	-	-	0,4	2,2	0,4	0,5	>0,5	-	-
HV20	-	1,2	-	-	1,0	-	1,7	>0,1	-
V21	-	0,2	0,8	-	1,4	-	1,1	>0,5	-
V22	-	0,8	-	-	1,2	0,4	1,1	>0,5	-
V23	0,65	-	-	-	1,1	0,3	0,4	0,8	207,9
V24	0,9	-	-	-	-	0,4	0,9	>0,9	-
V25	0,8	-	-	-	-	0,25	1,1	>0,9	-
Archivní průzkumné vrty									
JV2	-	-	0,4	-	1,5	-	1,0	2,6	206,4
JV4	-	-	0,5	-	2,0	-	0,0	1,7	206,5
JV5	-	-	1,0	-	1,3	-	0,6	1,6	206,8
JV6	-	-	0,4	-	1,9	-	0,7	1,5	206,2
JV7	-	-	0,6	-	-	1,5	0,5	0,9	208,4
JV8	-	-	0,5	-	-	1,2	0,8	0,9	208,6
JV9	-	-	0,8	-	-	1,2	0,7	0,8	208,3
JV10	-	-	0,5	-	2,1	-	0,4	0,7	207,2

* K+St – konstrukční vrstvy a stabilizovaná zemina aktivní zóny komunikací a zpevněných ploch

Tabulka 16: Přehled průzkumných vrtů se základními údaji o výskytu geotechnických typů (s vyznačením vrtů na porušených komunikacích a zpevněných plochách)

4.4.3. Geotechnické vlastnosti zemín a hornin

Geotechnické vlastnosti jednotlivých typů zemín a hornin byly stanoveny na základě makroskopického popisu průzkumných vrtů, výsledků laboratorních zkoušek a zkušeností s průzkumnými pracemi v obdobném prostředí. Přehled doporučených charakteristických hodnot základních fyzikálních a geomechanických parametrů vyčleněných geotechnických typů je uveden v Tabulka 17.

Geotechnický typ		ČSN Zařídění dle 73 6133	Střední vzdálenost diskontinuit [mm]	Konzistence / ulehlost	Objemová hmotnost	Deformační parametry		Smyková pevnost	
Označení	Název				ρ_n [kg/m ³]	E_{def} [MPa]	ν [-]	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]
Fo	Fluviální organické sedimenty	F6 CIO - F8 CHO	-	tuhá	1800 - 1850	2 - 3	0,40 - 0,42	14 - 18	8 - 12
Df	Deluvio-fluviální jílovité a písčitojílovité sedimenty	F6 CI, F4 CS	-	tuhá	2050 - 2150	3 - 6	0,35 - 0,40	18 - 24	8 - 16
		S5 SC (S3 S-F)	-	tuhá / středně ulehlé	1850 - 1950	4 - 8	0,30 - 0,35	26 - 30	0 - 6
D	Deluviální a deluvio – eluviální jílovitým sedimenty	F8 CH- CV	-	pevná	1850 - 2000	4 - 8	0,40 - 0,42	15 - 18	8 - 12
Se	Slínovce zcela zvětralé a rozložené	F8 CV (R6)	<20	pevná	1900 - 2000	4 - 10	0,40 - 0,42	15 - 20	6 - 12
Sz	Slínovce velmi až mírně zvětralé	R6 – R5	20-50	-	2000 - 2300	15 – 40	0,30 - 0,40	-	-
Sn	Slínovce slabě zvětralé a zdravé	R5 – R4	50-150	-	2300 - 2500	40 – 100	0,25 - 0,30	-	-

Tabulka 17: Doporučené charakteristické hodnoty fyzikálních a geomechanických parametrů zemín a hornin

Výsledky provedených základních klasifikačních rozborů vybraných odebraných vzorků zemín jsou uvedeny v Tabulka 18.

Sonda	Hloubka [m]	ČSN 736133	ČSN EN ISO 14688-2	W _n	W _L	W _P	I _p	I _c	I _a	C _u	C _c	I _{om}	I _{ou}	ρ _s	ρ _n	ρ _u	Makroskopický popis zeminy	GT typ
				%			kg/m ³											
HV2	1 - 1,5	F8 CH	Si	28,7	67,2	29,5	37,7	1,01	23,11	2,8	0,6	-	-	-	-	-	Jíl s vysokou plasticitou, šedý, silně vápňitý, pevný	D
HV2	1,5 – 1,7	F8 CV	siCl	30,6	72,4	31,5	40,9	1,05	1,57	-	-	-	-	2741	1886	1444	Jíl s velmi vysokou plasticitou, hnědošedý, silně vápňitý, pevný	D
V10	2,0 – 2,4	F4 CS	saCl	13,5	35,8	13,5	22,3	1,01	0,71	-	-	-	-	2683	2170	1901	Jíl písčité, šedý, silně vápňitý, pevný	Df
V10	2,7 – 3,0	F8 CV	Cl	28,8	77,7	30,2	47,5	1,05	1,19	-	-	-	-	2714	1902	1476	Jíl s velmi vysokou plasticitou, hnědošedý, vápňitý, pevný	Se
V11	1,3 – 2,2	F8 CV	Cl	26,9	73,8	31,3	42,5	1,09	1,05	-	-	-	-	-	-	-	Jíl s velmi vysokou plasticitou, šedý, rezavě skvrnitý, vápňitý, pevný	D
V12	1,25 – 1,6	F7 MV	Cl	27,3	77,1	36,5	40,7	1,22	0,97	-	-	-	-	-	-	-	Hlína s velmi vysokou plasticitou, šedá, rezavě skvrnitá, silně vápňitá, pevná	D
V12	1,6 – 1,8	F8 CV	Cl	27,3	74,1	31,3	42,8	1,15	0,91	-	-	-	-	2718	1952	1533	Jíl s velmi vysokou plasticitou, šedý, silně vápňitý, pevný	Se
V13	2,6 – 2,8	F8 CV	Cl	27,8	83,5	29,6	53,9	1,04	1,00	-	-	-	-	2735	1935	1514	Jíl s velmi vysokou plasticitou, šedý, vápňitý, pevný	D
HV14	0,8 – 1,0	F3 MS	saSi	53,3	70,5	47,4	23,1	0,74	-	7,2	0,3	-	-	2742	1544	965	Hlína písčitá, hnědošedá, rezavě smolňovaná, tuhá, slabě vápňitá	St
HV14	1,0 – 1,3	F8 CV	Cl	25,6	73,1	19,9	53,2	0,92	1,35	-	-	-	-	2726	1972	1507	Jíl s velmi vysokou plasticitou, hnědožlutý, šedě skvrnitý, vápňitý, tuhý	D

Tabulka 18 - Přehled výsledku základních klasifikačních rozborů zemin (místo poruchy HV 14)

Pro upřesnění deformačních parametrů deluviálních a eluviálních jíílů s velmi vysokou plasticitou byly na třech neporušených vzorcích provedeny zkoušky stlačitelnosti v edometru. V průběhu zkoušky byly všechny vzorky nejprve zatíženy napětím 25 kPa a plně saturovány. Po zjištění bobtnacího tlaku byly vzorky postupně zatíženy napětím 50 - 100 - 200 - 400 - 800 - 1600 kPa. Přehled výsledků těchto zkoušek je uveden v Tabulka 19. Z výsledků zkoušek je patrné, že deformační parametry i zjištěné bobtnací tlaky všech zkoušených vzorků jsou velmi podobné. V tabulce je rovněž uvedena hodnota bobtnacího tlaku stanovená na zemině aktivní zóny z vrtu HV17 (původní vysoce plastický jíl upravený cemento-vápennou stabilizací Dorosol C50), která svědčí o nízkém potenciálu této zeminy dále bobtnat.

Vrt	Hloubka [m]	Zatřídění dle ČSN 73 6133	Konzistence	Edometrický modul	Bobtnací tlak
				E_f [Mpa]	[kPa]
HV2	1,5 – 1,7	F8 CV	pevná	9,54 – 3,65 – 4,47 – 6,98 – 11,18 *	24 - 43
V18	1,8 – 2,0	F8 CV	pevná	9,50 – 4,45 – 6,21 – 10,19 – 21,82**	43 - 74
V12	1.6 – 1.8	F8 CV	pevná	5,31 – 4,56 – 5,73 – 8,54 – 10,87 – 24,47 **	23 - 64
HV17	0.8 – 1.0	F3 MS (F7 MV)	tuhá		8

* - pro zatěžovací stupně: 43 – 50 – 100 – 200 – 400 – 800 kPa

** - pro zatěžovací stupně 64 (74) – 100 – 200 – 400 – 800 – 1600 kPa

Tabulka 19 - Výsledky zkoušek stlačitelnosti a bobtnacího tlaku v edometru

Pro stanovení optimální vlhkosti a maximální objemové hmotnosti byly na třech směsných vzorcích zemin (dva vzorky deluviálních jíílů s vysokou až velmi vysokou plasticitou a 1 vzorek deluvio-fluviálních prachovitých jíílů se střední až vysokou plasticitou a písčítých jíílů) provedeny zkoušky zhutnitelnosti Proctor standard. Přehled výsledků těchto zkoušek je uveden v Tabulka 20. Z výsledků zkoušek je patrné, že přirozená vlhkost zemin je oproti zjištěné optimální vlhkosti větší o 2,9-5,2 % u deluviálních jíílů a 0,9 % u deluvio-fluviálních písčítých a prachovitých jíílů.

Vrt	Hloubka [m]	Popis	Zatřídění dle ČSN 73 6133	Přirozená vlhkost	Optimální vlhkost	Maximální objemová hmotnost
				W _n [%]	W _{opt} [%]	ρ_d [kg/m ³]
HV2 + V11	1,0 – 2,2	Jíl s vysokou až velmi vysokou plasticitou, pevný, s vysokým obsahem sádrovce	F8 CH-CV	26,9 – 28,7	24,0	1540
V12 + HV3	1,25 – 1,7	Jíl s vysokou až velmi vysokou plasticitou, pevný, s nízkým obsahem sádrovce	F8 CH-CV	27,3 – 28,2	23,0	1590
V21 + HV20	1,0 – 2,2	Jíl písčítý, tuhý + jíl se střední až vysokou plasticitou, pevný	F4 CS + (F6 CI – F8 CH)	15,9 (24,6)	15,0	1850

Tabulka 20: Výsledky zkoušky zhutnitelnosti Proctor standard

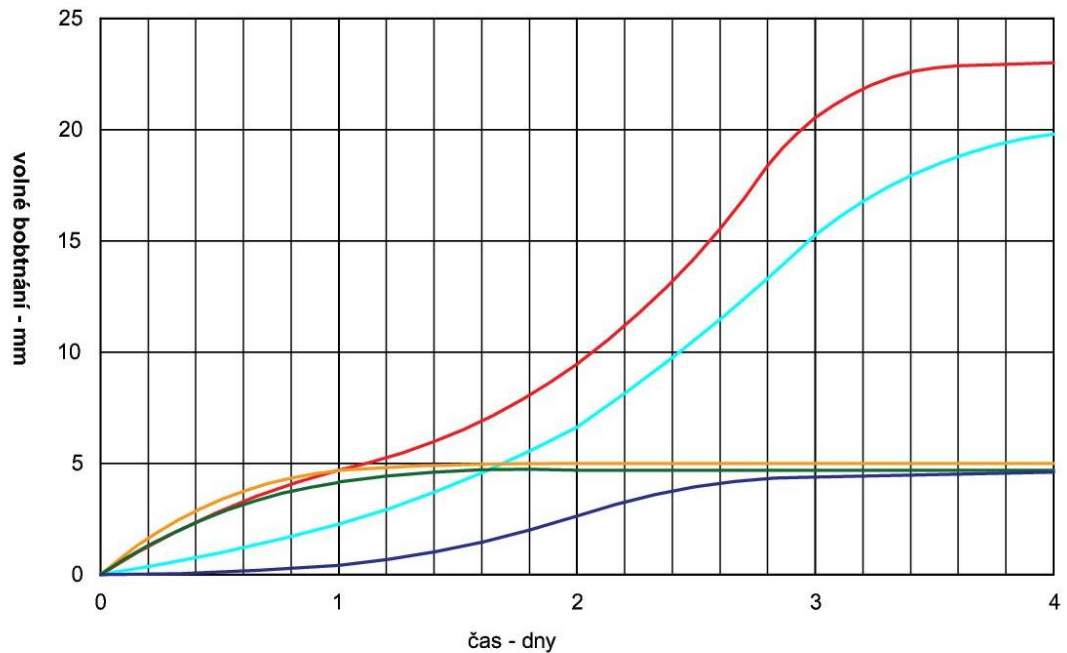
Pro zhodnocení únosnosti zemin (tj. jejich vhodnosti) v podloží vozovky dle ČSN 73 6133 a souvisejícímu návrhu tloušťky upravené aktivní zóny byly na pěti vzorcích zemin provedeny zkoušky CBR. Zkoušky byly provedeny na zemině s přirozenou vlhkostí zhuštěné energií 100 % PS. Přehled výsledků těchto zkoušek je uveden v Tabulka 21. Z výsledků zkoušek je patrné, že u všech zkoušených vzorků je hodnota CBR nižší než 2,0 % a v případě úpravy těchto zemin v podloží vozovky (v aktivní zóně) je nutné tyto zeminy zlepšit v minimální mocnosti 500 mm.

Vrt	Hloubka [m]	Popis	Zatřídění dle ČSN 73 6133	CBR (po 96 h saturace)
HV2 + V11	1,0 – 2,2	Jíl s vysokou až velmi vysokou plasticitou, pevný, s vysokým obsahem sádrovce	F8 CH-CV	0,5 %
V12 + HV3	1,25 – 1,7	Jíl s vysokou až velmi vysokou plasticitou, pevný, s nízkým obsahem sádrovce	F8 CH-CV	Nelze měřit
V21 + HV20	1,0 – 2,2	Jíl písčítý, tuhý + jíl se střední až vysokou plasticitou, pevný	F4 CS + F6 CI + F8 CH	0,9 %
HV1	1,3 – 1,7	Jíl se střední plasticitou, pevný	F6 CI	1,7 %
V10	2,0 – 2,4	Jíl písčítý, pevný	F4 CS	1,2 %

Tabulka 21: Výsledky zkoušky únosnosti CBR nezlepšených zemin

Pro sledování potenciálu zkoušených zemin bobtnat bylo v průběhu sycení všech vzorků (96 h) pro zkoušky únosnosti CBR měřeno lineární volné bobtnání zeminy (ruční měření 1 x denně). Přehled výsledků záznamu volného bobtnání jednotlivých vzorků je uveden na Obrázek 10. Z výsledků zkoušek je patrné, že u zkoušených vzorků deluviálních až deluvio-eluviálních jílu s velmi vysokou plasticitou došlo ke značnému bobtnání s hodnotami až 20,0-23,0 mm (tj. cca 15,0 - 18,4 % lineárních objemových změn), což svědčí o jejich značném bobtnacím potenciálu. Naproti tomu u vzorků deluvio-fluviálních prachovitých a písčítých jílu byly zjištěné hodnoty bobtnání jen cca 5,0 mm (tj. cca 4,5 % lineárních objemových změn).

Volné bobtnání v CBR moždíři (96 h saturace)



- deluviální až deluvio-eluviální jíł, 5 % sádrovce (HV2 + V11: 1,0 - 2,2 m)
- deluviální až deluvio-eluviální jíł, 1 % sádrovce (V12 + HV3: 1,3 - 1,7 m)
- deluvio-fluviální jíł a písčítý jíł (HV20 + V21: 1,0 - 2,2 m)
- deluvio-fluviální prachovitý jíł (HV1: 1,3 - 1,7 m)
- deluvio-fluviální písčítý jíł (V10: 2,0 - 2,4 m)

Obrázek 10: Výsledky zkoušky volného bobtnání nezlepšených zemin

Na základě makroskopického popisu průzkumných sond a výsledků laboratorních zkoušek byly jednotlivým typům zemin a hornin přiřazeny základní geotechnické a technologické vlastnosti, které jsou přehledně uvedené v Tabulka 22 (rovněž uvedeno u popisu geotechnických typů).

Geotechnický typ		Zařídění dle ČSN 73 6133	Vhodnost pro aktivní zónu dle ČSN 73 6133	Vhodnost do násypů dle ČSN 73 6133	Namrzavost dle ČSN 73 6133
Označení	Název				
An	Antropogenní navážky	Y	-	-	-
H	Humózní horizont	F5 MIO	nepoužitelné	nepoužitelné	nebezpečně namrzavé
Fo	Fluviální organické sedimenty	F6CIO - F8 CHO (F4 CSO)	nevhodné	nevhodné	nebezpečně namrzavé
Df	Deluvio-fluviální jílovité a písčité sedimenty	F6 CI, F4 CS, S5 SC (S3 S-F)	podmínečně vhodné až nevhodné	podmínečně vhodné	Vysoce namrzavé - nebezpečně namrzavé
D	Deluviální a deluvio – eluviální jílovitým sedimenty	F8 CH-CV	nevhodné	nevhodné	Vysoce namrzavé - nebezpečně namrzavé
Se	Slínovce zcela zvětralé a rozložené	F8 CV (R6)	nevhodné	nevhodné	Vysoce namrzavé - nebezpečně namrzavé
Sz	Slínovce velmi až mírně zvětralé	R6 – R5	-	-	-
Sn	Slínovce slabě zvětralé a zdravé	R5 – R4	-	-	-

Tabulka 22: Přehled geotechnických a technologických vlastností zemin a hornin

1.1.1. Výsledky zkoušek pro návrh zlepšení zemin

S ohledem na zjištěné charakteristiky přirozeně uložených zemin v prostoru budoucí aktivní zóny komunikací, zpevněných ploch a podlah halových objektů byly provedeny laboratorní zkoušky pro návrh zlepšení těchto zemin. V rámci těchto zkoušek bylo vzhledem k vysokému obsahu síranů vyzkoušeno hydraulické pojivo Georoad, které je směsí vysokopecní strusky, portlandského slínku, elektrárenského popílku a dalších přísad. Výsledky zkoušky CBR na vzorcích s 2 - 4 - 6 % pojiva jsou pro různou délku zrání a saturace uvedeny v Tabulka 23. Z výsledků je patrné, že v případě vzorků jílu s velmi vysokou plasticitou dochází ke zvyšování únosnosti i po třech dnech zrání a 96ti hodinách saturace (nástup pevnosti je dlouhodobý a pozvolný).

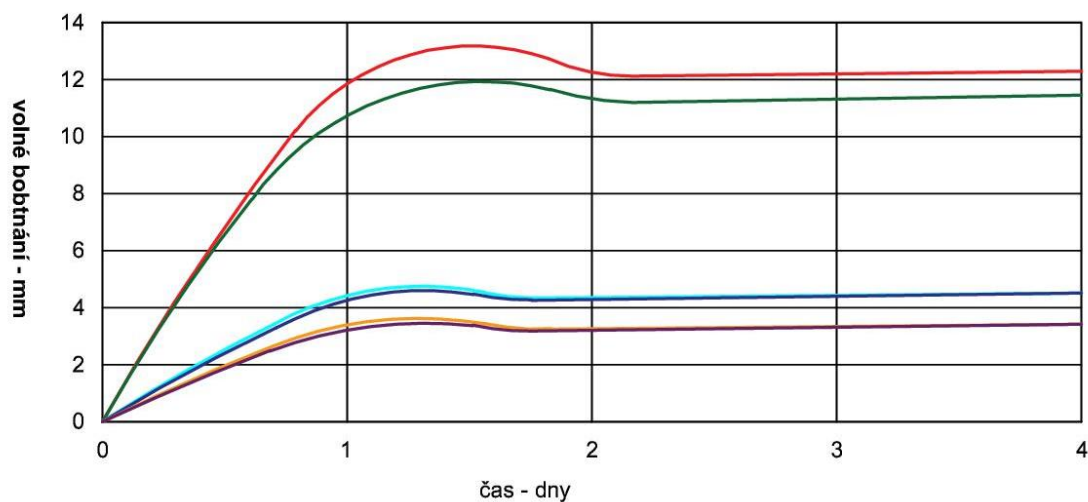
Vrt	Hloubka [m]	Popis	Zařazení dle ČSN 73 6133	Přidané pojivo Georoad	CBR	
					3 dny zrání, 96 h saturace ve vodě	3 dny zrání, 25 dnů kapilární saturace
HV2 + V11	1,0 – 2,2	Jíl s vysokou až velmi vysokou plasticitou, pevný, s vysokým obsahem sádrovce	F8 CH-CV	2 %	1,8 %	-
				4 %	15,9 %	21,7 % *
				6 %	26,4 %	36,2 % *
V12 + HV3	1,25 – 1,7	Jíl s vysokou až velmi vysokou plasticitou, pevný, s nízkým obsahem sádrovce	F8 CH-CV	2 %	2,0 %	-
				4 %	14,7 %	25,3 % *
				6 %	26,1 %	34,0 % *
V21 + HV20	1,0 – 2,2	Jíl písčité, tuhý + jíl se střední až vysokou plasticitou, pevný	F4 CS + F6 CI + F8 CH	2 %	19,6 %	-
				4 %	45,5 %	-
				6 %	48,9 %	-

* - výsledky zkoušek negativně ovlivněny usmyknutím vzorku

Tabulka 23: Výsledky zkoušky únosnosti CBR zlepšených zemin

Pro sledování bobtnacího potenciálu zlepšených vzorků zemin bylo v průběhu jejich sycení (96 h) pro zkoušky únosnosti CBR měřeno lineární volné bobtnání zeminy (orientační ruční měření 1 x denně). Na dvou směsných vzorcích deluviálních jílu upravených 4 a 6 % pojiva Georoad pak bylo volné bobtnání v CBR hrnci měřeno rovněž přesnou metodou po dobu 25 dnů. Záznam volného bobtnání pro vzorky deluviálních jílu s různým podílem sádrovce a pojiva Georoad jsou uvedeny na Obrázek 11 a Obrázek 12. Z výsledků je patrné, že v případě deluvio-fluviálních písčitojilovitých zemin k redukcí bobtnání stačí přidání 2 % pojiva Georoad (nebylo zaznamenáno žádné bobtnání). V případě deluviálních jílu s velmi vysokou plasticitou je k dostatečnému zamezení bobtnání nutné přidat min. 4 % pojiva Georoad. U obou vzorků těchto jílu zlepšených 4 % a 6 % pojiva Georoad hodnota volného bobtnání dosáhla po 28 dnech zrání 2,0-3,0 mm, což odpovídá kategorii LS5 dle ČSN EN 14227-15. U zkoušených vzorků nebyl pozorován vliv obsahu sádrovce na míru bobtnání. Zejména vzorek z vrtů V12 + HV3: 1,25-1,7 m zlepšený 6 % pojiva Georoad vyhazoval i po 28 dnech mírné bobtnání bez patrné změny trendu.

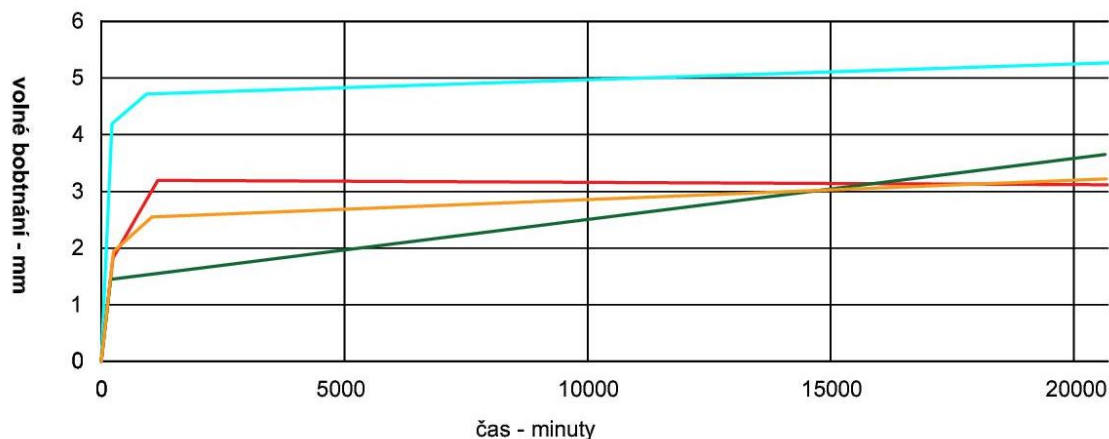
Volné bobtnání v CBR moždíři (96 h saturace)



- deluviální až deluvio-eluviální jíl, 5 % sádovce (HV2 + V11: 1,0 - 2,2 m) + 2 % Georoad
- deluviální až deluvio-eluviální jíl, 5 % sádovce (HV2 + V11: 1,0 - 2,2 m) + 4 % Georoad
- deluviální až deluvio-eluviální jíl, 5 % sádovce (HV2 + V11: 1,0 - 2,2 m) + 6 % Georoad
- deluviální až deluvio-eluviální jíl, 1 % sádovce (V12 + HV3: 1,3 - 1,7 m) + 2 % Georoad
- deluviální až deluvio-eluviální jíl, 1 % sádovce (V12 + HV3: 1,3 - 1,7 m) + 4 % Georoad
- deluviální až deluvio-eluviální jíl, 1 % sádovce (V12 + HV3: 1,3 - 1,7 m) + 6 % Georoad

Obrázek 11: Výsledky zkoušky volného bobtnání zlepšených zemin – orientační měření

Volné bobtnání v CBR moždíři



- deluviální až deluvio-eluviální jíl, 5 % sádrovce (HV2 + V11: 1,0 - 2,2 m) + 4 % Georoad
- deluviální až deluvio-eluviální jíl, 5 % sádrovce (HV2 + V11: 1,0 - 2,2 m) + 6 % Georoad
- deluviální až deluvio-eluviální jíl, 1 % sádrovce (V12 + HV3: 1,3 - 1,7 m) + 4 % Georoad
- deluviální až deluvio-eluviální jíl, 1 % sádrovce (V12 + HV3: 1,3 - 1,7 m) + 6 % Georoad

Obrázek 12: Výsledky zkoušky volného bobtnání zlepšených zemín – přesné měření

V případě deluviálních jílů s velmi vysokou plasticitou byl rovněž u vzorků s 4 a 6 % pojiva Georoad ověřen bobtnací tlak v edometru. Přehled výsledků těchto měření je uveden v Tabulka 24. U vzorků zlepšené zeminy s vyšším obsahem sádrovce byly zjištěny vyšší bobtnací tlaky. V případě obou vzorků pak byl zaznamenán pokles bobtnacího tlaku při vyšší dávce pojiva.

Vrt	Hloubka [m]	Popis	Zatřídění dle ČSN 73 6133	Přidané pojivo Georoud	Bobtnací tlak [kPa]
HV2 + V11	1,0 – 2,2	Jíl s vysokou až velmi vysokou plasticitou, pevný, s vysokým obsahem sádrovce	F8 CH-CV	4 %	76
				6 %	57
V12 + HV3	1,25 – 1,7	Jíl s vysokou až velmi vysokou plasticitou, pevný, s nízkým obsahem sádrovce	F8 CH-CV	4 %	37
				6 %	24

Tabulka 24: Výsledky bobtnacího tlaku v edometru zlepšených zemín

Pro ověření vlivu použitého pojiva na snížení namrzavosti byla na dvou vzorcích deluviálních jílů s velmi vysokou plasticitou upravených 6 % pojiva laboratorně ověřena jejich namrzavost. Výsledky těchto zkoušek jsou přehledně uvedeny v Tabulka 25. Z výsledků zkoušek je patrné, že takto zlepšená zemina je u obou vzorků dle ČSN 72 1191 mírně namrzavá až namrzavá.

Vrt	Hloubka [m]	Popis	Zařídění dle ČSN 73 6133	Přidané pojivo Georoud	Součinitel β [-]	Namrzavost dle ČSN 72 1191
HV2 + V11	1,0 – 2,2	Jíl s vysokou až velmi vysokou plasticitou, pevný, s vysokým obsahem sádrovce	F8 CH-CV	6 %	0,46	57
V12 + HV3	1,25 – 1,7	Jíl s vysokou až velmi vysokou plasticitou, pevný, s nízkým obsahem sádrovce	F8 CH-CV	6 %	0,49	24

Tabulka 25: Výsledky zkoušky namrzavosti zlepšených zemin

4.4.4. Výsledky chemických a mineralogických analýz zemin

Pro ověření agresivity prostředí na stavební konstrukce byly na dvou vzorcích zemin provedeny základní chemické rozborů pro stavební účely. Oba dva vzorky představovaly deluviální až deluvio-eluviální jíly s velmi vysokou plasticitou. Vzorek jílu z vrtu HV2 obsahoval velký podíl drobně krystalického sádrovce. Ve vzorku z vrtu V12 byl pak makroskopicky patrný sádrovec zastoupen minimálně. Přehled výsledků chemických rozborů je uveden v Tabulka 26. Z výsledků analýz je důležitá především skutečnost, že vzorek s makroskopicky patrným sádrovcem obsahuje 49 200mg síranu na kg sušiny, což odpovídá vysoce agresivnímu prostředí XA3. Druhý vzorek pak obsahuje pouze 7 410 mg síranů, což odpovídá středně agresivnímu prostředí.

Průzkumný vrt		HV2	V12
Hloubka odběru		1,4 – 1,5m	1,5 – 1,6 m
Kyselost	ml/kg sušiny	<50	<50
pH – H ₂ O	-	7,78	7,49
Sušina v analytickém vzorku	% hmotnosti	84,80	78,40
Celkový chlór v bezvodém vzorku	% hmotnosti sušiny	0,020	0,003
Obsah síry v bezvodém vzorku	% hmotnosti sušiny	3,44	0,17
Sírany	mg/kg sušiny	49 200	7 410
ČSN-EN 206-1 (Beton – část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba)		XA3 vysoká sírany	XA2 střední sírany

Tabulka 26: Výsledky chemických rozborů zemin

Pro určení kvantitativního zastoupení jednotlivých minerálních fází byly na třech vzorcích zemín provedeny laboratorní analýzy rentgenovou difrakcí. První vzorek (HV14: 1,0-1,1 m) představoval deluvio-eluviální jíl s velmi vysokou plasticitou a makroskopicky patrným sádrovcem. Druhý vzorek (HV14: 0,6-0,8 m) představoval stabilizovanou zeminu aktivní zóny v místě výrazné poruchy (tj. materiál prvního vzorku upravený 5 % pojiva Dorosol C50). Poslední vzorek pak představoval rovněž materiál jílu s velmi vysokou plasticitou a vysokým obsahem sádrovce (směsný vzorek z vrtů HV2 a V11) zlepšeného 6 % pojiva Georoad. Výsledky kvantitativní fázové analýzy jsou přehledně uvedeny v Tabulka 27. Z výsledku analýz je z hlediska řešené problematiky poruch důležitá především skutečnost, že díky úpravě zeminy prvního vzorku došlo vlivem chemických reakcí k poklesu zastoupení jílových minerálů, výraznému snížení podílu sádrovce a zejména vzniku dvou minerálů - ettringitu a thaumasitu. V případě třetího vzorku zeminy upravené pojivem Georoad pak ke vzniku těchto expanzivních minerálů nedošlo. Výsledky analýz rovněž potvrdily u všech vzorků přítomnost smektitu (v neupravené zemině v podílu 10,7 %).

Průzkumný vrt		HV14	HV14	HV2 + V11
Hloubka odběru		1,0 – 1,1 m	0,6 – 0,8 m	1,0 – 2,2 m
Křemen	% hmotnosti sušiny	30,4	31,1	24,5
Plagioklas	% hmotnosti sušiny	0,0	0,5	0,0
Alkalický živec	% hmotnosti sušiny	7,1	4,4	6,1
Dolomit	% hmotnosti sušiny	2,6	0,0	0,6
Goethit	% hmotnosti sušiny	1,0	0,0	1,7
Kalcit	% hmotnosti sušiny	9,5	14,4	20,8
Sádrovec	% hmotnosti sušiny	8,1	0,7	14,9
Slídy / Illit	% hmotnosti sušiny	20,8	17,3	15,8
Smektit (montmorillonit)	% hmotnosti sušiny	10,7	9,0	8,7
Kaolinit	% hmotnosti sušiny	9,8	7,4	7,0
Ettringit	% hmotnosti sušiny	0,0	6,5	0,0
Thaumasit	% hmotnosti sušiny	0,0	8,5	0,0

Tabulka 27: Výsledky kvantitativní fázové analýzy zemín

Pro stanovení obsahu základních prvků (jejich oxidů) a dalších vybraných ukazatelů byly na identických vzorcích zemín (podrobených rentgenové difrakci) provedeny úplné silikátové analýzy, jejichž výsledky jsou přehledně uvedeny v Tabulka 28. Výsledky analýz ověřily zejména shodu všech zkoušených vzorků z hlediska základního chemického složení. Z výsledků analýz je rovněž patrný vysoký obsah hliníku, proměnlivý obsah celkové síry a nárůst podílu CO₂ (v důsledku stabilizace zeminy použitými pojivy).

Průzkumný vrt		HV14	HV14	HV2 + V11
Hloubka odběru		1,0 – 1,1 m	0,6 – 0,8 m	1,0 – 2,2 m
SiO ₂	% hmotnosti sušiny	41,30	46,35	42,04
TiO ₂	% hmotnosti sušiny	0,50	0,54	0,42
Al ₂ O ₃	% hmotnosti sušiny	11,28	11,64	12,22
Fe ₂ O ₃	% hmotnosti sušiny	2,44	2,74	2,67

FeO	% hmotnosti sušiny	0,35	0,52	0,49
MgO	% hmotnosti sušiny	1,77	1,99	1,87
MnO	% hmotnosti sušiny	0,066	0,037	0,065
CaO	% hmotnosti sušiny	12,48	12,65	15,00
SrO	% hmotnosti sušiny	<0,005	0,099	0,123
BaO	% hmotnosti sušiny	0,023	0,028	0,019
Li ₂ O	% hmotnosti sušiny	0,009	0,010	0,009
Na ₂ O	% hmotnosti sušiny	0,09	0,13	0,10
K ₂ O	% hmotnosti sušiny	1,91	1,99	1,81
P ₂ O ₅	% hmotnosti sušiny	0,060	0,082	0,073
Průzkumný vrt		HV14	HV14	HV2 + V11
F	% hmotnosti sušiny	0,096	0,099	0,065
CO ₂	% hmotnosti sušiny	3,35	6,26	7,16
C (odst.)	% hmotnosti sušiny	0,256	0,184	0,354
S (tot.)	% hmotnosti sušiny	4,845	1,034	3,271
H ₂ O (+)	% hmotnosti sušiny	7,85	7,24	5,88
H ₂ O (-)	% hmotnosti sušiny	6,47	5,49	5,57
F (ekv.)	% hmotnosti sušiny	-0,040	-0,042	-0,027
S (ekv.)	% hmotnosti sušiny	-1,209	-0,258	-0,816
Total		95,15	99,12	99,22

Tabulka 28: Výsledky silikátových analýz zemín

4.4.5. Hydrogeologické poměry a HG monitoring

V rámci realizace nových průzkumných vrtů byly ověřeny předpokládané hydrogeologické poměry území. Dle pozice jednotlivých vrtů a v nich zastížené geologie byla naražená hladina podzemní vody zastížena jak v prostředí silně rozpukaných a zvětralých slínovců křídové zvodně, tak i v prostředí zvodně deluvio-fluviálních písčitých sedimentů. V případě křídové zvodně se propustnost a odpovídající vydatnost přítoků velmi lišila v některých vrtech (např. V12 došlo k velmi rychlému nastoupání hladiny až na konečnou úroveň v řádu prvních hodin), v jiných vrtech nebyla naražená hladina zastížena a ani po 24 h nebyly zaznamenané výrazné přítoky (např. V13). Provedená měření rovněž potvrdila napjatost hladiny křídové zvodně v důsledku existence nadložního izolátoru v podobě eluviálních a deluviálních nepropustných jílu. Svrchní kvartérní zvoď byla průzkumnými vrty zastížena výhradně v jižní a jihozápadní části území v blízkosti stávajícího koryta potoka. Vydatnost přítoků v jednotlivých vrtech byla závislá na mocnosti zvodnělých poloh a jejich propustnosti (tj. podílu jemnozrnné a písčité frakce). Intenzivní přítoky byly zaznamenané především ve vrtu HV1 z polohy slabě jílovitých písků (z důvodu silných přítoků a ztekucování těchto zemín bylo nutné v průběhu vrtání použít technického pažení). Ve vrtu V22 naopak podzemní voda nebyla vůbec zastížena (bez přítomnosti propustných písčitých poloh). Hladina kvartérní zvodně je zpravidla volná a svou úrovní ve vrtech odpovídá hladině vody v korytě potoka. Údaje o úrovních naražené a ustálené hladiny podzemní vody v archivních i nově provedených vrtech jsou přehledně uvedeny v následující Tabulka 29. Realizace nových průzkumných vrtů byla prováděna v období dlouhodobého deficitu srážek a v případě změn

klimatických poměrů lze očekávat vyšší stav ustálené hladiny podzemní vody (to potvrzují i údaje o vyšší úrovni ustálené hladiny v některých archivních vrtech - např. JV7).

Výsledky první etapy režimního měření kolísání hladiny podzemní vody ve vystrojených monitorovacích vrtech jsou uvedeny též v Tabulka 29, Z trendu vývoje úrovně hladiny ve většině vrtů je patrný její trvalý stabilní pokles v důsledku dlouhodobého deficitu srážek.

Označení vrtu	Naražená hladina podzemní vody			Ustálená hladina podzemní vody		
	hloubka	kóta	datum	hloubka	kóta	Čas od naražení
HV1	1,9 Q	209,06	-	1,7	209,29	-
HV2	-	-	-	2,2	209,14	-
HV3	-	-	-	0,7	210,55	-
HV4	2,0 Q	209,48	-	1,4	210,08	-
V10	3,5 K	209,17	-	2,1	210,57	-
V11	-	-	-	2,0	209,13	-
V12	3,3 K	207,62	-	1,0	209,92	-
V13	-	-	-	-	-	-
HV14	-	-	-	1,6	209,60	-
V15	-	-	-	3,8	207,55	120 min.
V16	-	-	-	4,0	206,90	180 min.
HV17	-	-	-	3,0	208,3	-
V18	7,2 K	204,25	-	3,5	207,95	180 min.
V19	3,0 Q	207,91	-	3,0	207,91	240 min.
HV20	2,0 Q	209,20	-	2,0	209,19	-
V21	-	-	-	-	-	-
V22	1,5 Q	209,66	-	3,4	207,76	180 min.
V23	2,4 Q	208,81	-	1,26	209,95	180 min.
V24	-	-	-	-	-	-
V25	-	-	-	-	-	-
Archivní průzkumné vrty						
JV2	1,7 Q / 5,0 K	209,02 / 205,72	3.5.2006	1,2	209,52	3.5.2006
JV4	1,3 Q / 3,7 K	209,43 / 207,03	4.5.2006	1,0	209,73	4.5.2006
JV5	4,9 K	206,99	4.5.2006	2,2	209,69	4.5.2006
JV6	4,8 K	207,19	4.5.2006	1,8	210,19	4.5.2006
JV7	4,8 K	207,00	4.5.2006	0,8	211,00	4.5.2006
JV8	-	-	-	1,7	209,2	4.5.2006
JV9	5,0 K	206,25	4.5.2006	0,7	210,55	4.5.2006
JV10	5,7 K	205,58	4.5.2006	1,1	210,18	4.5.2006

Q – kvartérní zvrtoň, K – křídová zvrtoň

Tabulka 29: Přehled průzkumných vrtů se základními údaji o podzemní vodě

Krátkodobé srážky se na úrovni hladiny zpravidla výrazně neprojeví (pouze krátkodobý efekt). Výrazné skoky v úrovni hladiny ve vrtu HV20 v období srážek jsou pravděpodobně ovlivněny zastiženou starou meliorační trubkou. Pouze ve vrtu HV14 byl pozorován výraznější a opožděnější vliv srážek na zvýšení úrovně hladiny. V případě vrtů HV14 a HV2 (situovaných v prostoru zpevněných ploch při severním okraji areálu) je úroveň hladiny

pravděpodobně ovlivněna existencí kanalizace, která způsobuje trvalé zaklesnutí hladiny pod přirozenou úroveň (pokles hladiny vlivem dlouhodobého deficitu srážek zde není pozorován). V případě vrtu HV17 je velmi pomalý nárůst hladiny dokladem nízké propustnosti křídové zvodně v okolí tohoto vrtu (konečná úroveň hladiny je i v tomto vrtu pravděpodobně zakleslá oproti přirozené úrovni vlivem stávající kanalizace).

Dle provedených chemických rozborů podzemní voda křídové i kvartérní zvodně vykazuje dle ČSN EN 206-1 Beton-část 1 - střední síranovou agresivitu na betonové konstrukce - stupeň XA2. Koncentrace síranů ve vzorcích podzemní vody dosahovala 1410-1960 mg/l. V případě styku stavební konstrukce s podzemní vodou je třeba s touto agresivitou počítat. Přehled výsledků chemických rozborů podzemní vody je uveden v Tabulka 30.

Průzkumný vrt		HV1	HV2	HV3	HV4
Hloubka odběru		1,7 m	2,3 m	0,7 m	1,5 m
Datum odběru		14.6.2018	14.6.2018	14.6.2018	14.6.2018
Amonné ionty	mg/l	0,82	1,87	0,94	0,45
KNK-4,5	mmol/l	7,10	7,80	7,15	4,55
ZNK-8,3	mmol/l	1,10	1,00	1,05	0,85
pH		7,02	7,14	7,14	7,11
sírany	mg/l	1960	1550	1920	1410
vápník	mg/l	505	489	565	589
hořčík	mg/l	277	170	207	132
Vápník a hořčík	mmol/l	24,0	19,2	22,6	20,1
barva	vizuálně	bez	bez	bez	bez
sediment	vizuálně	mechanický	mechanický	mechanický	mechanický
pach	vizuálně	zemitý	zemitý	bez	rybina
CO ₂ agresivní (Heyer. Met.)	mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
CO ₃ ²⁻	mg/l	0	0	0	0
HCO ₃ ⁻	mg/l	433	476	436	278
CO ₂ volný	mg/l	48,4	44,0	46,2	37,4
Langel. index	mg/l	-0,98	-0,77	-0,86	-1,00
ČSN – EN 206-1 (Beton – část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba		XA2 střední sírany	XA2 střední sírany	XA2 střední sírany	XA2 střední sírany

Tabulka 30: Výsledky chemických rozborů podzemní vody

4.4.6. Předběžný návrh úpravy zemin

V rámci návrhu na zlepšení zemin v aktivní zóně byly na třech směsných vzorcích provedeny zkoušky únosnosti CBR po přidání 2 - 4 - 6 % hydraulického pojiva Georoad. Tyto zkoušky únosnosti byly provedeny po třech dnech zrání a 96ti hodinách sycení vzorků zlepšené zeminy (sycení pomocí ponoření vzorků ve vodě). Pro zjištění nárůstu únosnosti CBR v čase byly na dvou vzorcích zemin zlepšených 4 a 6 % pojiva Georoad zkoušky provedeny dále po třech dnech zrání a dvacetičtyřech dnech kapilárního sycení (identické vzorky, na kterých bylo měřeno volné bobtnání).

Pro sledování potenciálu zkoušených zemin bobtnat bylo v průběhu sycení všech vzorků (96h) pro zkoušky únosnosti CBR měřeno lineární volné bobtnání zeminy (ruční měření 1 x denně). Na dvou směsných vzorcích zeminy upravených 4 a 6 % pojiva Georoad pak bylo volné bobtnání v CBR hrnci měřeno přesnou metodou po dobu 24 dnů (až do ukončení bobtnání). Na těchto dvou vzorcích byl rovněž stanoven bobtnací tlak v edometru. Na dvou směsných vzorcích zeminy upravených 6 % pojiva Georoad byla laboratorně ověřena jejich namrzavost.

5. Praktická část - Návrh úpravy zemin pro komunikace a zpevněné plochy rozšíření areálu Mladá Boleslav – Plazy

Cílem této části je provedení průkazní zkoušky úpravy zemin hydraulickými pojivy Georoad a CEM III/B 32,5 N-LH/SR. Druhy a jednotlivá procentuální stanovení dávkovaného pojiva jsem zvolil dle předchozích znalostí a složité geologické situace na stavbě (obsah sádrovce v zemině, vysoký obsah síranů ve spodní vodě). Z tohoto důvodu jsem zvolil pojiva neobsahující podíl CaO.

Georoad je pomalu tuhnoucí hydraulické pojivo vyráběné semletím portlandského slínku, elektrárenského popílku, popř. odprašky z rotační cementářské pece. Dále se používá vysokopecní struska a sádrovec jako regulátor tuhnutí. Pojivo je vysoce odolné proti síranům. Technický list je v příloze D.

Hydraulické pojivo CEM III/B 32,5 N-LH/SR je vysokopecní síranovzdorný cement, který se vyrábí mletím portlandského slínku se struskou, síranem vápenatým, doplňujícími složkami a přísadami. Technický list je v příloze E.

Technologicky jsem zvolil ochranné opatření, kdy v upravované vrstvě aktivní zóny 500 mm se horních 150 mm nahradí štěrkopískem.

Příměs jsem objemově navrhl: Georoad 7 % a CEM III/B 32,5 N-LH/SR 6 %. Každé pojivo bylo v zemině zkoušeno separovaně.

Obě hydraulická pojiva pochází od společnosti CEMEX.

5.1. Výběr materiálu a místa pro vzorkování

V prostoru budoucí zpevněné plochy areálu Mladá Boleslav - Plazy jsem odebral vzorek z hloubky cca 80 cm z břehu kopané sondy - Obrázek 13. Místo výběru jsem směřoval

k zemině nekontaminované předchozí úpravou a opravou zemními pojivy CaO a Dorosol C50.

Jedná se o neupravenou jemnozrnnou jílovitou zeminu šedé barvy s viditelným obsahem sádrovce. K odběru vzorku byl použit rýč a polypropylenový pytel. Odebral jsem cca 50 kg vzorku pro laboratorní účely.



Obrázek 13: Kopaná sonda pro odběr vzorku zeminy

Mým úkolem je provést stanovení zhutnitelnosti Proctor standard a CBR směsi jílovité zeminy, šterkopísku a hydraulického pojiva. Dále pak je mým úkolem zhodnocení a postup sanace stávající zpevněné plochy a návrh postupu výstavby nových zpevněných ploch.

U odebraného vzorku zeminy bylo provedeno základní geotechnické zařídění dle ČSN 73 6133. Na základě popisných vlastností byla zemina zaříděna jako typ F8 CH - Obrázek 14.

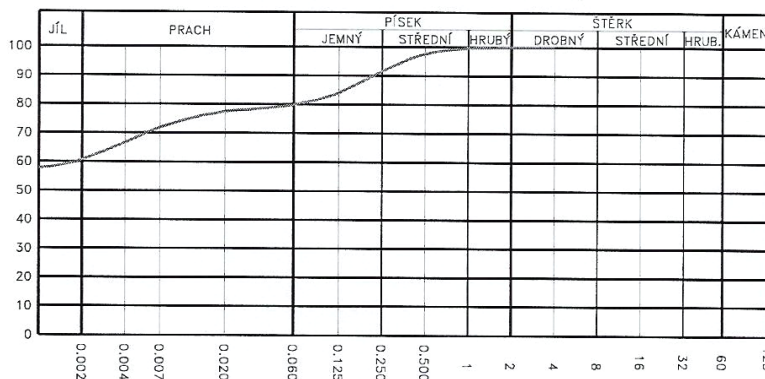
LABORATORNÍ VZOREK ZEMINY

Popisné a fyzikální charakteristiky, klasifikace

Úkol : ML. BOLESLAV

Sonda: JÍL hloubka [m]: 0.0- 0.0 lab. číslo: 2516

KŘIVKY ZRNITOSTI ZEMIN



Obsah frakce [%]	
JÍL	61
PRACH	19
PÍSEK	20
ŠTĚRK	0

Vlhkost $w = 22.2 \%$

Atterbergovy meze : $I_p = 30$ $w_p = 24$ $w_L = 54 \%$

Konzistence : 0.97 TUHÁ

KOLOIDNÍ AKTIVITA

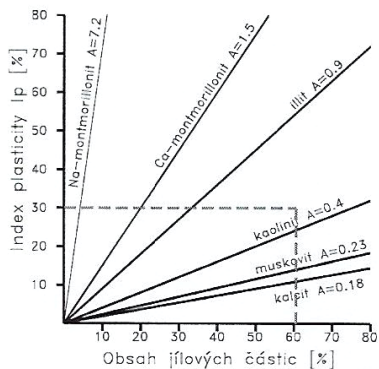
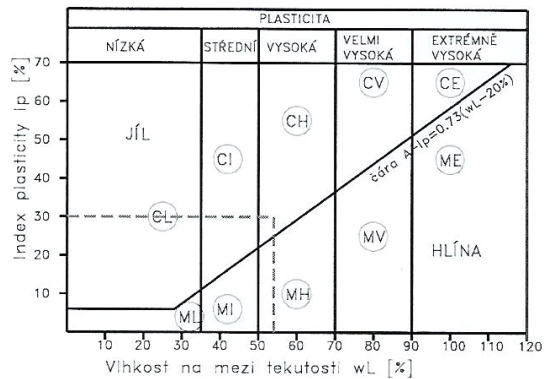


DIAGRAM PLASTICITY



Pórovitost [%]	Číslo pórovitosti
Saturace [%]	Barva vzorku ŠEĎ SVĚTLÁ
Organ. příměsí	Uhlíčitany ZEMINA JE SILNĚ VÁPENITÁ
Klasifikace ČSN 736133	F8 CH
Klasifikace ČSN EN ISO 14688-2	CI CIH
Klasifikace ČSN 752410	F8 CH
Název zeminy	JÍL S VYSOKOU PLASTICITOU
podle ČSN 736133	
Podloží	NEVHODNÁ
Násyp	NEVHODNÁ

Obrázek 14: Geotechnické zařídění odebraného vzorku jílovité zeminy

Štěrkopísek použitý k úpravě zeminy jsem zvolil z pískovny Obruby z důvodu nejkratší dopravní vzdálenosti. Jedná se o štěrkopísek netříděný-I.. Zatřídění dle ČSN 73 6133 jako štěrkopísek G3 G-F - Obrázek 15.

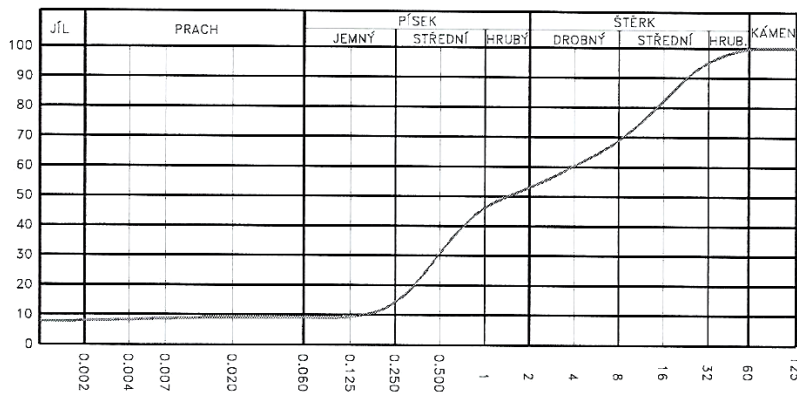
LABORATORNÍ VZOREK ZEMINY

Popisné a fyzikální charakteristiky, klasifikace

Úkol : ML. BOLESLAV

Sonda: SP hĺoubka [m]: 0.0- 0.0 lab. číslo: 2517

KŘIVKY ZRNITOSTI ZEMIN



Obsah frakce [%]	
JÍL	8
PRACH	1
PÍSEK	44
ŠTĚRK	47
C _u	27.016
C _c	0.428

Vlhkost w = 4.0 %

Atterbergovy meze : NEPLASTICKÝ

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110[x]

Pórovitost [%]	Číslo pórovitosti
Saturace [%]	Barva vzorku BÉŽOVÁ STŘEDNÍ
Organ. příměsi	Uhličitany NEOBSAHUJE UHLIČITANY
Klasifikace ČSN 736133 G3 G-F	Název zeminy ŠTĚRK S PŘÍMĚSÍ podle ČSN 736133 JEMNOZRNĚNÉ ZEMINY
Klasifikace ČSN EN ISO 14688-2 saGr SiL	Podloží VHODNÁ
Klasifikace ČSN 752410 G3 G-F	Násyp VHODNÁ

Obrázek 15: Geotechnické zatřídění štěrkopísku

Homogenní směs ze zeminy F8 CH a štěrkopísku v objemovém poměru 70:30 (váhovém 66:34). Zatřídění dle ČSN 73 6133 jako písčité jíly F4 CS - Obrázek 16.

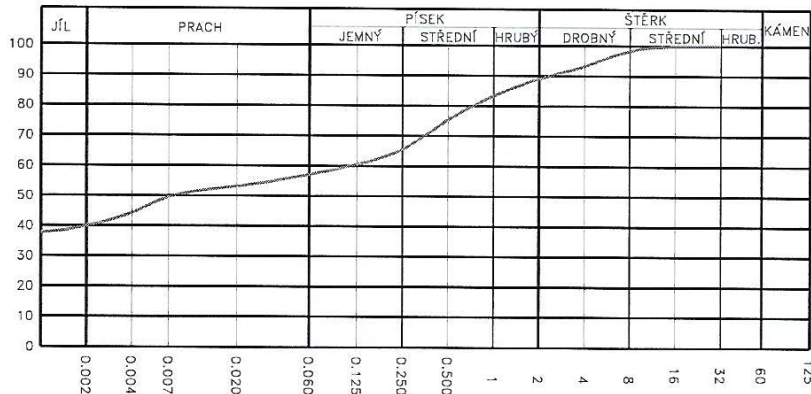
LABORATORNÍ VZOREK ZEMINY

Popisné a fyzikální charakteristiky, klasifikace

Úkol : ML. BOLESLAV

Sonda: JÍL+34%SP hloubka [m]: 0.0- 0.0 lab. číslo: 2518

KŘIVKY ZRNITOSTI ZEMIN



Obsah frakce [%]	
JÍL	40
PRACH	18
PÍSEK	32
ŠTĚRK	11

Vlhkost $w = 17.2\%$

Atterbergovy meze : $I_p = 24$ $w_p = 23$ $w_L = 47\%$

Konzistence : 1.24 PEVNÁ

KOLOIDNÍ AKTIVITA

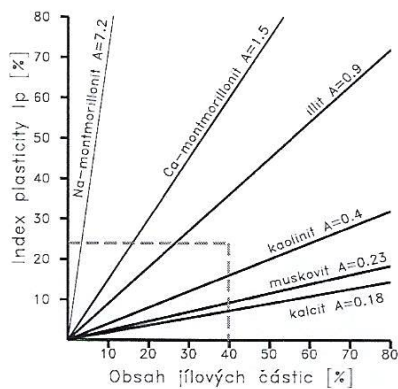
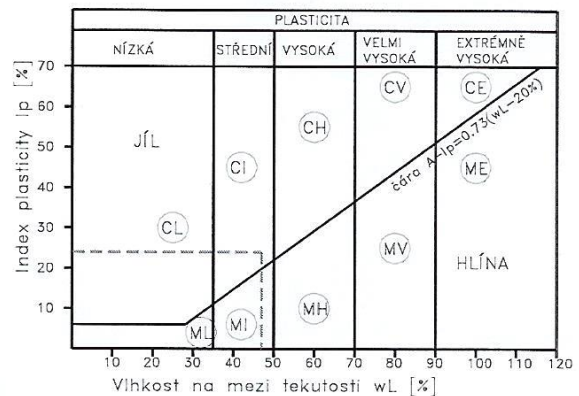


DIAGRAM PLASTICITY



Pórovitost [%]	Číslo pórovitosti
Saturace [%]	Barva vzorku HNĚDOŠEDÁ
Organ. příměsí	Uhlčitany ZEMINA JE SILNĚ VÁPENITÁ
Klasifikace ČSN 736133	F4 CS
	Název zeminy PÍŠČITÝ JÍL
	podle ČSN 736133
Klasifikace ČSN EN ISO 14688-2	saCl CIM
	Podloží PODM. VHODNÁ
Klasifikace ČSN 752410	F4 CS
	Násyp PODM. VHODNÁ

Obrázek 16: Geotechnické zatřídění směsi jílu F8 CH a štěrkopísku G3 G-F

Vhodnost zemin pro pozemní komunikace je uvedena na Obrázek 17.

Vhodnost zemin pro pozemní komunikace

NÁZEV ÚKOLU : *ML. BOLESLAV*
 ČÍSLO ÚKOLU :

Vzorek	Sonda	Hloubky [m]	Typ zeminy	Kapil. vzl. Hs Hmax [m]	Namrzavost	Vhodnost zemin	
						Aktivní zóna	Násyp
2516	JÍL	0,0 - 0,0	F8 CH	MIMO GRAF	NEBEZPEČNĚ NAMRZAVÉ	NEVHODNÁ	NEVHODNÁ
2517	SP	0,0 - 0,0	G3 G-F	NEPATRNÁ	NENAMRZAVÉ	VHODNÁ	VHODNÁ
2518	JÍL+34%SP	0,0 - 0,0	F4 CS	2,9 10,4	NEBEZPEČNĚ NAMRZAVÉ	PODM. VHODNÁ	PODM. VHODNÁ

Filtrační součinitel (K)

VZOREK	SONDA	HLOUBKA [m]	KONSTANTNÍ SPÁD [m/s]	CARMAN - KOZENY [m/s]	METODA U. S. BUREAU OF SOIL CLASSIFICATION (CH. MALLET J. PACQUANT) [m/s]	METODA PODLE HAZENA [m/s]
2516	JÍL	0,0 - 0,0			mimo oblast	mimo oblast
2517	SP	0,0 - 0,0			$3,2000 \cdot 10^{-4}$	$2,1041 \cdot 10^{-4}$
2518	JÍL+34%SP	0,0 - 0,0			mimo oblast	mimo oblast

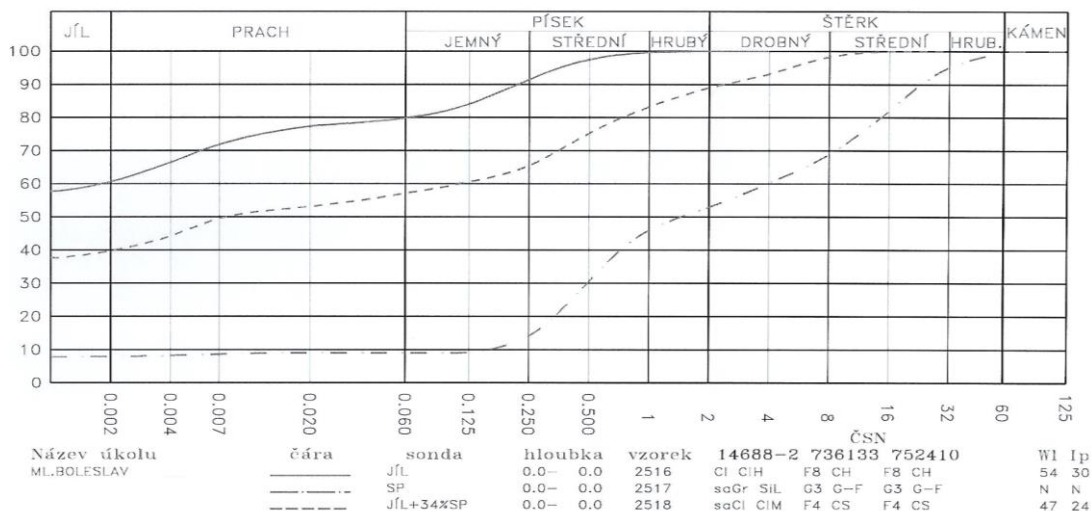
Stanovení zrnitosti

VZOREK	Rozměr oka síta [mm]									
	0.001	0.002	0.004	0.007	0.0125	0.025	0.05	0.1	0.2	0.425
2516	57,67%	60,59%	66,45%	71,79%	77,35%	80,01%	83,98%	91,40%	97,44%	99,59%
2517	7,78%	7,92%	8,20%	8,60%	9,03%	8,78%	9,22%	14,08%	30,46%	45,92%
2518	37,61%	39,80%	44,18%	49,46%	53,11%	57,30%	60,52%	65,43%	75,22%	83,18%

Obrázek 17: Vhodnost zemin pro pozemní komunikace

Na Obrázek 18 jsou znázorněny jednotlivé křivky zrnitosti, a to pro jílovitou zeminu F8 CH, šterkopísek G3 G-F, a směs jílu a šterkopísku F4 CS.

KŘIVKY ZRNITOSTI ZEMIN



Obrázek 18: Křivky zrnitosti zemin a jejich směsí

5.2. Provádění průkazných zkoušek

Pro potřeby průkazných zkoušek jsem připravil homogenní směs ze zeminy F8 CH a šterkopísku, a to v objemovém poměru 70:30 (váhovém 66:34). Jako první jsem stanovil maximální objemové hmotnosti zemin pomocí zkoušky Proctor standard podle 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, příloha NB, metoda 2, pro jednotlivé procentuální stanovení hydraulických pojiv Georoad a CEM III/B 32,5 N-LH/SR. Po vyhodnocení jednotlivých maximálních objemových hmotností pomocí zkoušky Proctor standard jsem připravil zkušební tělesa pro Kalifornský poměr únosnosti (CBR), která se nechala v klimatizační komoře vyzrát, poté proběhla jejich saturace vodou v následujících 96 hodinách. Dále jsem provedl okamžité indexy únosnosti (IBI) na vzorku čerstvé směsi. Měření lineárního bobtnání (LS) probíhalo na vzorku zeminy F8 CH od samého počátku v průběhu 192 hod.

5.3. Proctor standard

Účelem zkoušky Proctor standard je nalezení optimální vlhkosti zeminy při maximálním hutnění neboli stanovení optimální vlhkosti při největší objemové hmotnosti suché zeminy.

Zkoušky jsem provedl na vzorcích směsi zeminy F8 CH, šterkopísku a hydraulického pojiva Georoad resp. CEM III/B 32,5 N-LH/SR dle ČSN EN 13286 – 2.

Jelikož propad obou směsí zkušebními sítmi velikosti 16 mm byl 100 %, zvolil jsem Proctorův moždír B podle Tabulka 31 a metodu přípravy vzorku podle Tabulka 32.

Proctorův moždír	Průměr d_1 [mm]	Výška h_1 [mm]	Tloušťka	
			Stěna t_w [mm]	Základní deska t [mm]
A	100,0 ± 1,0	120,0 ± 1,0	7,5 ± 0,5	11,0 ± 0,5
B	150,0 ± 1,0	120,0 ± 1,0	9,0 ± 0,5	14,0 ± 0,5
C	250,0 ± 1,0	200,0 ± 1,0	14,0 ± 0,5	20,0 ± 0,5

Tabulka 31: Rozměry nových moždírů dle ČSN EN 13286-2

Procento propadu zkušebními sítmi			Příprava podle článku ČSN EN 13286-2	Hmotnost vzorku [kg]	Proctorův moždír
16 mm	31,5 mm	63 mm			
100	-	-	6.4	15 40	A B
75 až 100	100	-	6.5.1	40	B
<100	75 až 100	100	6.5.2	40	B
-	<75	75 až 100	6.5.3	200	C

Tabulka 32: Přehled metod přípravy vzorku dle ČSN EN 13286-2

5.3.1. Postup zkoušky

Nejprve jsem smíchal vysušený vzorek zeminy F8 CH se štěrkopískem v objemovém poměru 70:30 (váhovém 64:36) a poté jsem nadávkoval pojivo. Protože procentuální množství pojiva je dané, stanovil jsem jeho množství ze vztahu dle TP94 – Úprava zemin, příloha 5

$$m = (h \cdot A \cdot \rho_{dmax}) / 100 \cdot p$$

kde

m – je hmotnost pojiva na jednotku plochy [kg]

h – je mocnost upravované vrstvy, resp. hloubka záběru zemní frézy [m], zvolil jsem **1 m**

A – je plocha, pro kterou určujeme dávkování (obvykle 1m²) [m²] - zvolil jsem **1 m²**

ρ_{dmax} – je maximální objemová hmotnost neupravené zeminy [kg.m⁻³] - zvolil jsem podle geotechnického průzkumu **1570 [kg.m⁻³]**

p – je dávkování pojiva v procentech

Z tohoto vztahu jsem vypočítal hmotnost dávkovaného pojiva Georoad 7 %, a to **109,9kg na 1 m³** směsi zeminy F8 CH a štěrkopísku a pojiva CEM III/B 32,5 N-LH/SR 6 % a to **94,2kg na 1 m³** směsi zeminy F8 CH a štěrkopísku.

U obou směsí jsem převzal optimální vlhkost z výsledku zkoušky a to 17 %. Oba vzorky jsem navlhčil na 10 %. Po zvážení moždíře s připevněnou základní deskou a vloženým filtračním papírem mezi desku a moždíř jsem směs zeminy s pojivem ukládal ve třech zhruba stejných vrstvách do moždíře s nástavcem. Každou jednotlivou vrstvu jsem hutnil rovnoměrně 56ti úderů pýchem o hmotnosti 2,5 kg z výšky 305 mm. Doporučené rozmístění úderů pýchem je v Tabulka 33.

Počet úderů	Vnější strana	Vnitřní strana	Vnější strana	Vnitřní strana
Na spodní vrstvu	18	10	18	10
Na střední vrstvu	18	10	18	10
Na horní vrstvu	13	7	13	7

Tabulka 33: Doporučené rozmístění úderů pýchem

Po dohutnění poslední vrstvy, která musí být nad úroveň horní hrany moždíře, jsem sejmul nástavec a ocelovým nožem odstranil přebytečnou směs zeminy a pojiva.

Vzorek jsem zvážil (odečetl jsem hmotnost moždíře a základní desky). Válcový vzorek jsem pomocí hydraulického lisu vyjmul z formy a rozpůlil. Ze vzorku jsem odebral 2 x cca 50g směsi zeminy a pojiva a umístil je do ocelových misek. Tyto vzorky jsem zvážil a následně

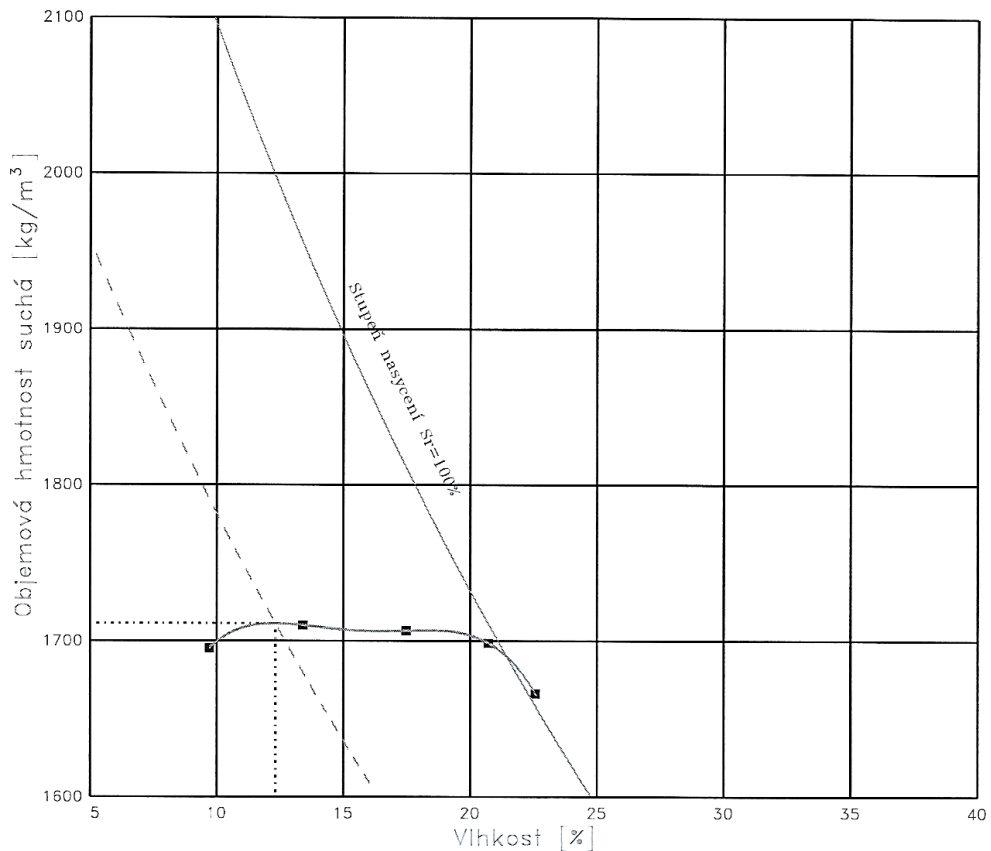
vysušil. Po vysušení jsem opět vzorky převážil a určil přesnou počáteční vlhkost. Takto jsem provedl postupně ostatní měření s jinou vyšší vlhkostí pro každou směs zeminy a pojiva tak, že jsem předchozí vzorek doplnil o vyšší procento vody.

Doplněním vstupních údajů do počítačového softwaru, který automaticky zpracovává výpočet a grafické vyjádření podle nastavených parametrů v souladu s ČSN EN 13286-2 kapitola 8, byl automaticky vygenerován výstup pro směs zeminy a pojiva Georoad 7 % - Obrázek 19 a pro směs zeminy a pojiva CEM III/B 32,5 N-LH/SR 6 % - Obrázek 20.

STANOVENÍ ZHUŠŤNITELNOSTI
 (ČSN EN 13286-2, Př.NB – METODA B – PROCTOR STANDARD)
 Pro hutnění při různých vlhkostech bylo použito téhož vzorku
 Akec: ML. BOLESLAV
 Sonda: SMES+7%GOR Hloubky: 0.0– 0.0 m Lab. číslo:2519
 Přirozená vlhkost:
 Zdánlivá hustota zeminy: 2650 kg/m³
 Obsah frakce pod 16 mm: %
 Klasifikace ČSN 73 6133:

Vlhkost [%]	9.7	13.4	17.5	20.7	22.6	
Objemová hmotnost suchá [kg/m ³]	1695	1710	1707	1699	1666	

Maximální objemová hmotnost :1711 kg/m ³	Rozšířená nejistota měření :±2.20 %
Optimální vlhkost :12.3 %	Rozšířená nejistota měření :±0.74 %



Obrázek 19: Proctor standard - směs zeminy a Georoad 7%

STANOVENÍ ZHUTNITELNOSTI

(ČSN EN 13286-2, PŘ.NB – METODA B – PROCTOR STANDARD)

Pro hutnění při různých vlhkostech bylo použito téhož vzorku

Akce: ML. BOLESLAV

Sonda: SMES+6%CEM Hloubky: 0.0– 0.0 m Lab. číslo: 2521

Přirozená vlhkost:

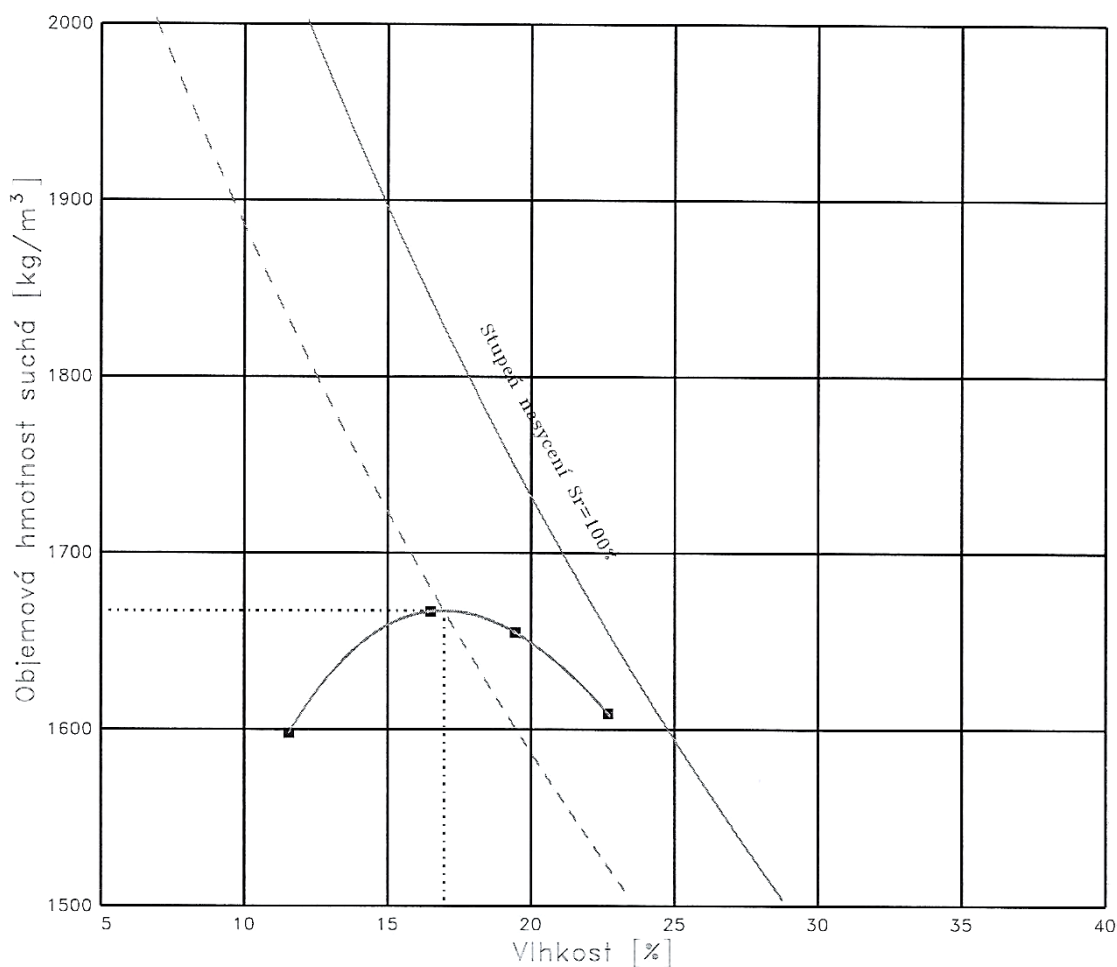
Zdánlivá hustota zeminy: 2650 kg/m³

Obsah frakce pod 16 mm: %

Klasifikace ČSN 73 6133:

Vlhkost [%]	11.6	16.5	19.4	22.7		
Objemová hmotnost suchá [kg/m ³]	1598	1667	1655	1609		

Maximální objemová hmotnost :1667 kg/m ³	Rozšířená nejistota měření :±2.20 %
Optimální vlhkost :17.0 %	Rozšířená nejistota měření :±0.74 %



Obrázek 20: Proctor standard - směs zeminy a CEM III/B 32,5 N-LH/SR 6%

5.4. CBR - Kalifornský poměr únosnosti

CBR vyjadřuje odpor zhutněné zeminy (sílu) proti pronikání ocelového trnu průměru 50 mm konstantní rychlostí 1,27 mm/min. Výsledkem je podíl síly změřené hloubkou penetrace 2,5 mm a 5,0 mm ku síle 13,2kN při zatlačení 2,5mm resp. 20,0kN při zatlačení 5,0mm.

Vyjádřeno v procentech. Zkušební metoda je definována ČSN 73 6186.

5.4.1. Postup zkoušky

Na základě vyhodnocení optimální vlhkosti w_{opt} podle Proctor standard jsem připravil pro každou směs zeminy a pojiva dva vzorky. Vzorky jsem ve třech vrstvách zhutnil do formy (moždíře, nástavce a základní desky) o průměru 152 mm a výšky 117 mm. Hutnění probíhalo obdobně jako při přípravě vzorku Proctor standard tj. 56 úderů hutnicím pěchem o hmotnosti 2,5 kg pro každou ze tří vrstev. Po odstranění nástavce jsem zarovnal ocelovým nožem horní hranu vzorku.

Vzorky jsem rozdělil tak, aby od každé směsi jeden vzorek vyžrával za optimální vlhkosti v klimatizační komoře a druhý byl umístěn do kádě s vodou pro plnou saturaci. Vzorky jsem nechal vyžrát 96 hodin za vizuální kontroly. Vzorky připravené pro saturaci byly opatřeny ocelovým prstencem a doplněny měřením pro stanovení poměrného bobtnání. Po uplynutí doby zrání, tj. 96 hodin byly vzorky umístěny do automatické měřící aparatury - Obrázek 21.



Obrázek 21: Automatická měřící aparatura

Vzorky z klimatizační komory byly doplněny ocelovým prstencem simulujícím přitížení konstrukční vrstvou vozovky. Saturevané vzorky jsem před vložením do automatické měřicí aparatury nechal okapat cca 15 min.

Za pomoci stolního počítače jsem zadal vstupní data k protokolu. Po ustavení vzorku a nastavení penetračního trnu na dosedací plochu vzorku jsem spustil automatické měřicí zařízení. Stejný postup jsem provedl u zbylých vzorků pro vyhodnocení.

Po dokončení zkoušky jsem u saturovaných vzorků stanovil vlhkostní parametry za pomoci sušení. Výsledky laboratorního stanovení poměru únosnosti zemin CBR a vlhkostních parametrů je na Obrázek 22 resp. Obrázek 23.

LABORATORNÍ STANOVENÍ POMĚRU ÚNOSNOSTI ZEMIN CBR

PODLE ČSN EN 13286-47 – HUTNĚNÝ VZOREK SE SYCENÍM

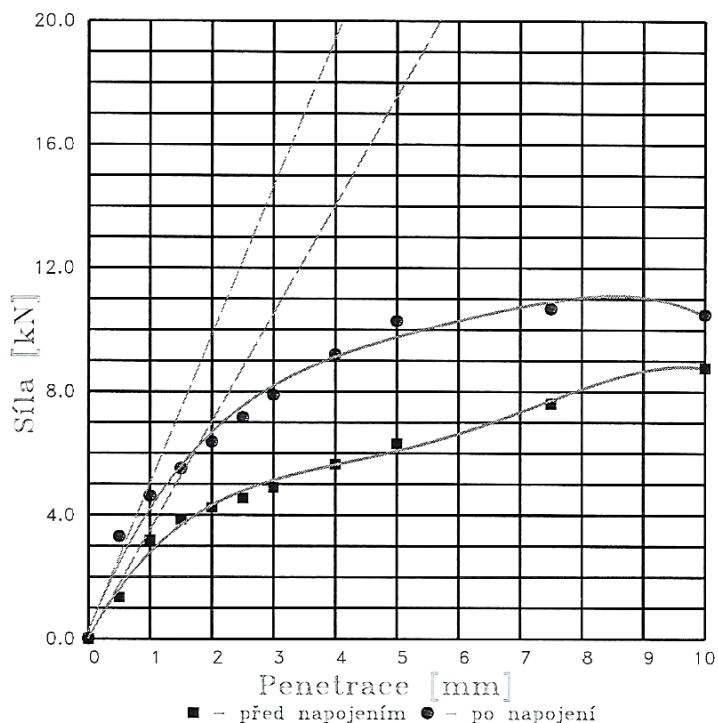
Akce: MLBOLESLAV Lab. číslo: 2519
 Sonda: SMES+7%GOR Hloubky: 0.0- 0.0 m
 Vzorek upraven na zrnění 22.4 mm
 Klasifikace ČSN EN ISO 14688-2:

Výška vzorku [mm] : 117.2
 Průměr vzorku [mm] : 152.1
 Hodnoty PCS : w_{opt} : 12.3 γ_{100z} : 1711
 w : 7 :

Objemová hmot. suchá [kg/m³]	1830.9	Ob. hm. suchá po nasyc. [kg/m³]	1767.6
Vlhkost před 1.penetrací [%]	4.7	Vlhkost z horní vrstvy po sycení a penetraci [%]	19.1
CBR stanovena z hodnot 100.0 [%] PCS		Vlhkost průměrná po sycení [%]	14.7
Saturace [%]	28.1	Saturace syceného vzorku [%]	77.9

Nabobtnání vzhledem k původní výšce [%]: 3.6 za 96.0 [hod]

ÚNOSNOST	PŘI ZATLAČENÍ 2.5 mm %CBR	ZA ZADANÉ VLNKOSTI	
		PO SYCENÍ	
	PŘI ZATLAČENÍ 5.0 mm %CBR	36.2	57.0
		30.4	48.8



Obrázek 22: Stanovení poměru únosnosti zemin CBR - směs + 7% Georoad

LABORATORNÍ STANOVENÍ POMĚRU ÚNOSNOSTI ZEMIN CBR

PODLE ČSN EN 13286-47 – HUTNĚNÝ VZOREK SE SYCENÍM

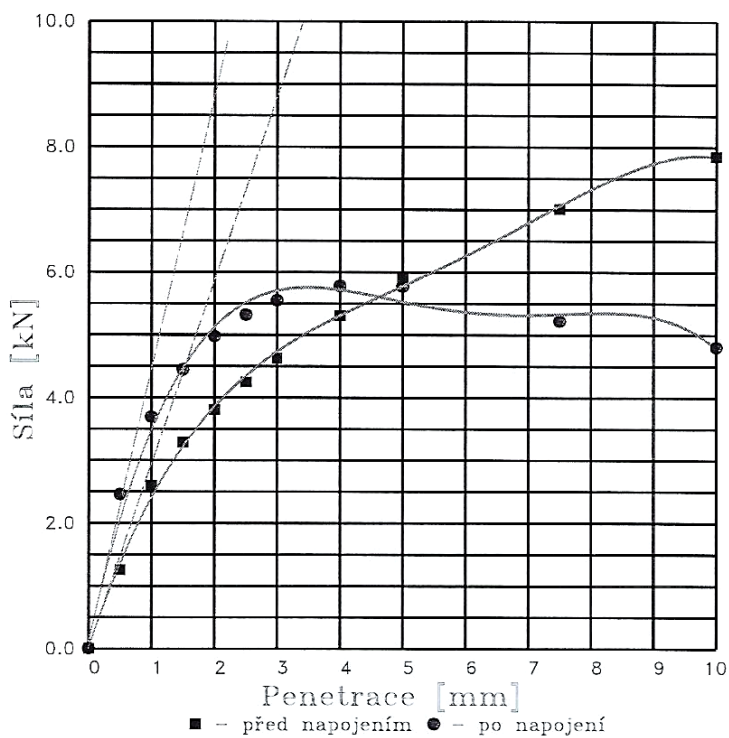
Akce: ML. BOLESLAV Lab. číslo: 2521
 Sonda: SMES+6%CEM Hloubky: 0.0– 0.0 m
 Vzorek upraven na zrnění 22.4 mm
 Klasifikace ČSN EN ISO 14688-2:

Výška vzorku [mm] : 116.7
 Průměr vzorku [mm] : 152.1
 Hodnoty PCS : w_{opt} : 17.0 $\gamma_{100\%}$: 1667
 w_{95} : 20.1 γ_{95} : 1584

Objemová hmot. suchá [kg/m ³] 1689.4	Ob. hm. suchá po nasyc. [kg/m ³] 1656.8
Vlhkost před 1. penetrací [%] 13.8	Vlhkost z horní vrstvy po sycení a penetraci [%] 20.3
CBR stanovená z hodnot 100.0 [%] PCS	Vlhkost průměrná po sycení [%] 20.1
Saturace [%] 64.5	Saturace syceného vzorku [%] 88.8

Nabobtnání vzhledem k původní výšce [%]: 2.0 za 96.0 [hod]

ÚNOSNOST	PŘI ZATLAČENÍ 2.5 mm %CBR	ZA ZADANÉ VLHKOSTI	PO SYCENÍ
		PŘI ZATLAČENÍ 5.0 mm %CBR	32.9
		28.9	27.6



Obrázek 23: Stanovení poměru únosnosti zemin CBR - směs + 6% CEM III 32,5

5.5. Pevnost v jednoosém tlaku

V laboratoři byly vzorky směsí zeminy a pojiv podrobeny též pevnosti v jednoosém tlaku po sedmi dnech zrání a zmrazovacích cyklech - Obrázek 24.

Pevnost hornin v jednoosém tlaku po 7 dnech zrání (jádro)

NÁZEV ÚKOLU : *ML. BOLESLAV*
ČÍSLO ÚKOLU :

VZOREK	SONDA	HLOUBKY [m]		Rozměry průměr x výška		Def. [%]	Objemová hmotnost		Pór. [%]	Sat. [%]	Pev- nost [MPa]	Sí- la	ŠP
				[cm]	[cm]		vlhká [kg/m ³]	suchá					
2519	SMES+7%GOR	0,0 - 0,0	p1	10,05x11,88	2,61	1956					1,0	⊥	1,18
			p2	10,01x11,80	1,86	2016					1,2	⊥	1,18
			p3	10,01x11,82	2,12	1991					1,1	⊥	1,18
			Ø			1988					1,1		
2521	SMES+6%CEM	0,0 - 0,0	p1	10,00x11,76	2,04	2007					0,7	⊥	1,18
			p2	10,03x11,84	1,69	1929					0,8	⊥	1,18
			p3	10,02x11,01	2,00	2086					0,6	⊥	1,10
			Ø			2007					0,7		

Pevnost hornin v jednoosém tlaku po 7 dnech zrání a zmrazovacích cyklech

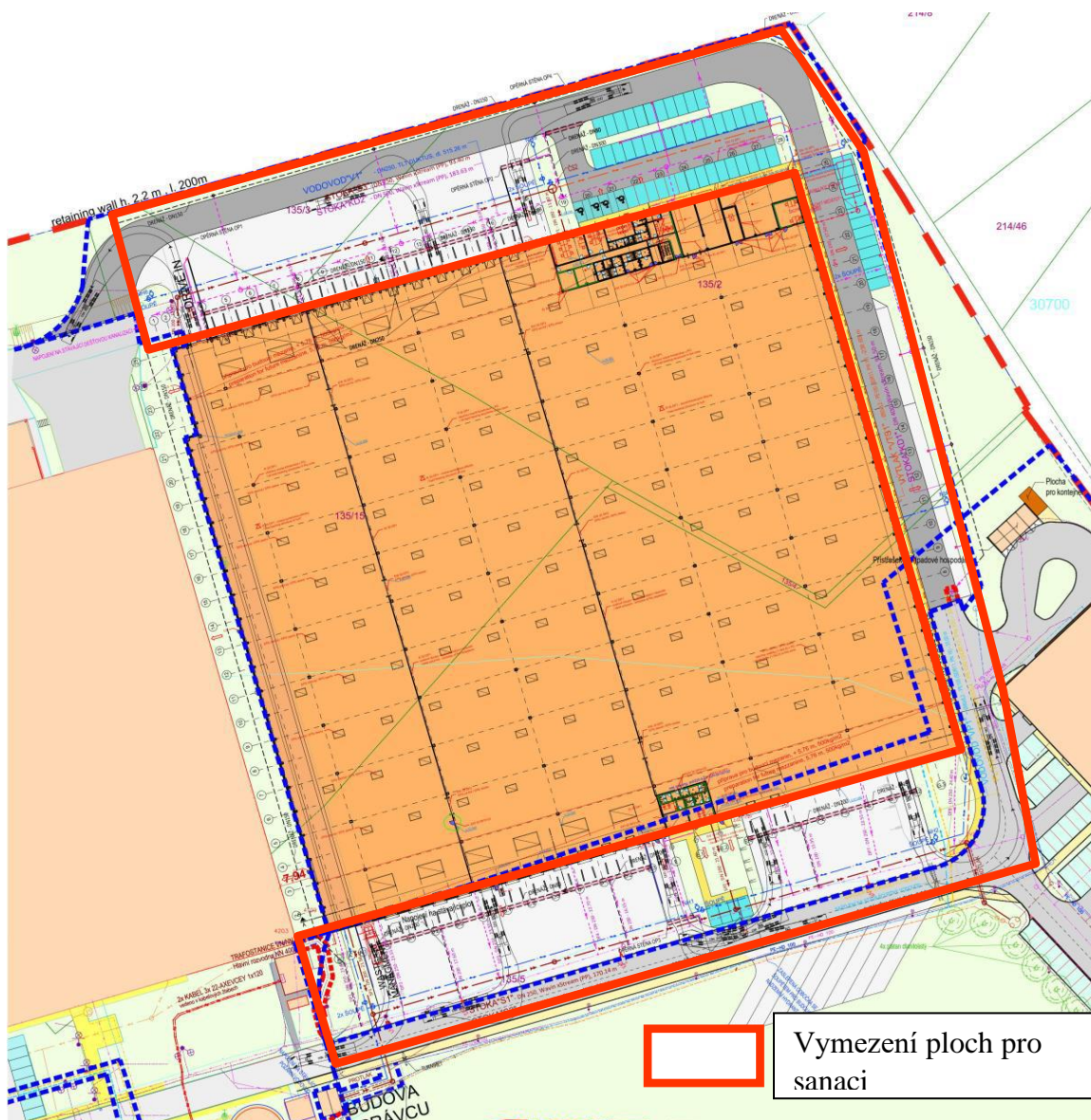
(jádro)

VZOREK	SONDA	HLOUBKY [m]		Rozměry průměr x výška		Def. [%]	Objemová hmotnost		Pór. [%]	Sat. [%]	Pev- nost [MPa]	Sí- la	ŠP
				[cm]	[cm]		vlhká [kg/m ³]	suchá					
2519	SMES+7%GOR	0,0 - 0,0	p1	10,01x11,86	2,7	2036					0,1	⊥	1,18
			p2	10,01x11,82	2,96	2034					0,1	⊥	1,18
										0,1	⊥	1,18	
2521	SMES+6%CEM	0,0 - 0,0	NELZE rozpad po 4 zmrazovacích cyklech										

Obrázek 24: Pevnost v jednoosém tlaku po 7 dnech zrání

5.6. Návrh úpravy a provádění nových zpevněných ploch a sanace stávajících zpevněných ploch

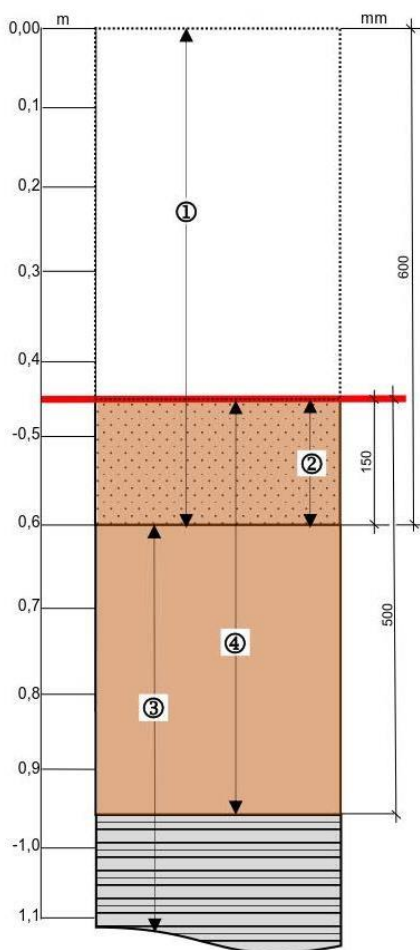
Vzhledem k vyrovnané bilanci zemin a z ekonomického hlediska navrhuji u nově budovaných zpevněných ploch zvýšit jejich niveletu o mocnost násypu ze štěrkodrti použité ke zlepšení jílovitých zemin a o procentuální navýšení dávkování hydraulického pojiva. Toto lze provést prostou změnou podélného spádu napojení stávající a budoucí komunikace. V návrhu a projektu nových objektů by již měl být tento postup zohledněn. Dále doporučuji vyřešit co nejlépe odvodnění zemních plání vyspádováním do trativodů propojených do kontrolních šachet a napojených do vsakovacích zařízení. Kontrolní šachty by měly být přístupné pro možnou kontrolu stavu výšky hladiny vody. Veškeré příčné sklony zemní pláň budou min. 3% a podélné 0,5% tak, aby voda v konstrukčních vrstvách vozovky netvořila kaluže.



Obrázek 25: Situace s vymezením ploch pro sanaci aktivní zóny komunikací a zpevněných ploch

Sanace porušených stávajících ploch je komplikovanější z důvodů nemožnosti úplného přerušení provozu logistického areálu. Jejich sanace musí probíhat po dohodě s uživatelem areálu po ucelených celcích. Situace s vymezením ploch k sanaci je uvedena na Obrázek 25. Celková výměra sanovaných ploch je 10 540 m².

Vzhledem k omezené možnosti úpravy nivelety komunikací v návaznosti na stávající objekty bude oprava spočívat v kompletním odstranění konstrukčních vrstev komunikací a zpevněných ploch podle vzorového schématu - Obrázek 26. Odstraněné konstrukční štěrkové vrstvy mohou být zpětně využity, ovšem tato možnost musí být v místě konzultována s geotechnikem. Z ekonomického hlediska je možno za souhlasu geotechnika štěrkodrt kontaminovanou zeminou přetřídit za pomoci mobilního třídícího zařízení a použít opětovně do konstrukčních vrstev komunikace. Pokud v návaznosti na stávající objekty nebude možno úpravou spádů ploch komunikací změnit niveletu, musí být aktivní zóna odtěžena o cca 150 mm v celé ploše pro prvotní úpravu jílovitých zemin smísením se štěrkodrtí.



- 1 Odstranění kompletní skladby konstrukce komunikace a odtěžení 150 mm původní zemní pláně – aktivní zóny komunikací
- 2 Navezení a rozprostření 150 mm netříděného štěrkopísku lokalita Obruby se zhutněním
- 3 Primárně uložené jíly F8 CH, objemově nestálé, bobtnavé
- 4 Úprava aktivní zóny na hloubku 500 mm hydraulickým pojivem, dávkování pojiva, mísení těžkou zemní frézou s dotací záměsové vody, rovnání do požadované nivelety a sklonů s hutněním

Obrázek 26: Schéma provedení sanace aktivní zóny

Po provedení stabilizace hydraulickým pojivem kladu důraz na dokonalé odvodnění zemní pláně – doplnění trativodů, úpravy sklonů zemní pláně, zprovoznění odvádění dešťových vod do vsakovacích objektů. Umístění drenáží bude provedeno podle vzorového příčného řezu – příloha F. Veškeré příčné sklony zemní pláně budou min 3% a podélné 0,5% tak, aby voda v konstrukčních vrstvách vozovky netvořila kaluže.

Výše navržená úprava aktivní zóny pomocí směsi šterkodrti jako kostry jílovité zeminy a hydraulického pojiva bez obsahu CaO musí být prováděna odborným zhotovitelem, který musí prokázat odbornou způsobilost podle metodického pokynu SJ-PK čj. 20840/01-120 v platném znění a za stálé přítomnosti geotechnika.

5.7. Ekonomické zhodnocení návrhů

Jedním z důležitých faktorů návrhu a plánování staveb je faktor ekonomický. Tento faktor by měl být jedním z podpůrných faktorů při návrhu a realizaci stavby. Nikdy by ovšem neměl být nadřazen kvalitativnímu návrhu stavby. Nicméně při více variantních možnostech kvalitativně stejných návrhů by k ekonomickým faktorům mělo být přihlíženo.

Ekonomické faktory neovlivňuje pouze cena materiálů a cena práce, ale i celá řada dalších kritérií jako např. délka výstavby, počasí, a také různé vlivy území (dopravní podmínky).

V svém ekonomickém zhodnocení posuzuji pouze samotný návrh úpravy zemin na dané lokalitě. Neposuzuji provádění hrubých terénních úprav, odstranění konstrukčních vrstev komunikací a zpevněných ploch, samotné konstrukční vrstvy komunikací a zpevněných ploch a jejich odvodnění. Výsledkem ekonomického zhodnocení bude určení konkrétní technologie provádění úpravy zemin aktivní zóny komunikací a zpevněných ploch předmětné lokality. Podle výsledného zhodnoceného návrhu bude provedena sanace a nová plánovaná výstavba.

Z technického návrhu vyplývá nutnost dodání šterkopísku zatříděného jako G3 G-F pro úpravu křivky zrnitosti. Ten jsem s ohledem na nejkratší dopravní vzdálenost volil z Pískovny Obruby. Dopravní vzdálenost pískovny od stavby je 13km. Hydraulická pojiva Georoad a CEM III/B 32,5 N-LH/SR pochází od společnosti CEMEX. Obě varianty zlepšení byly naceněny společností ZBA GeoTech - Tabulka 34 resp. Tabulka 35.

ROZPOČET						
Stavba: Mladá Boleslav - Plazy Objekt: Logistický areál						
Objednatel:			Zhotovitel: ZBA GeoTech		Zpracoval: Datum: 2. 7. 2021	
Místo:						
Č.	Kód položky	Popis	MJ	Množství celkem	Cena jednotková	Cena celkem
Zemní práce						3 014 440
1	56.001	Stabilizace podloží tl. 500 mm pojivem Georoad 7% Cena obsahuje: - dodávku pojiva Georoad - plošné dávkování pojiva v množství 7% - mísení pojiva do zeminy - korekce vlhkosti dodávkou záměsové vody - rovnání do sklonů a rovinnosti - hutnění - přeprava techniky - výměna zeminy okolo šachet a vpustí za ŠD - ztížení v místě křížení přípojek	m ²	10 540	286	3 014 440
Celkem						3 014 440

Tabulka 34: Cenová nabídka ZBA GeoTech stabilizace podloží Georoad

ROZPOČET						
Stavba: Mladá Boleslav - Plazy Objekt: Logistický areál						
Objednatel:			Zhotovitel: ZBA GeoTech		Zpracoval: Datum: 2. 7. 2021	
Místo:						
Č.	Kód položky	Popis	MJ	Množství celkem	Cena jednotková	Cena celkem
Zemní práce						2 382 040
1	56.001	Stabilizace podloží tl. 500 mm pojivem CEM III/B 32,5 N-LH/SR 6% Cena obsahuje: - dodávku pojiva CEM III/B 32,5 N-LH/SROV - plošné dávkování pojiva v množství 6% - mísení pojiva do zeminy - korekce vlhkosti dodávkou záměsové vody - rovnání do sklonů a rovinnosti - hutnění - přeprava techniky - výměna zeminy okolo šachet a vpustí za ŠD - ztížení v místě křížení přípojek	m ²	10 540	226	2 382 040
Celkem						2 382 040

Tabulka 35: Cenová nabídka ZBA GeoTech stabilizace podloží CEM III/B 32,5 N-LH/SR

Z výše uvedeného vyplývá jednoznačná úspora v úpravě zemin pojivem CEM III/B 32,5 N-LH/SR při zachování požadovaných parametrů úpravy.

V Tabulka 36 je uveden celkový náklad stavby za kompletní úpravu aktivní zóny zvoleného řešení pomocí hydraulického pojiva CEM III/B 32,5 N-LH/SR. Veškeré ceny jsou uvedeny bez DPH.

Úprav zemní pláně aktivní zóny směsným pojivem CEM III/B 32,5 N-LH/SR					
	Popis	MJ	Množství celkem	Cena jednotková	Cena celkem
1	šterkopísek netříděný I. (pískovna Obruba)	t	3 162	110	347 820
2	Doprava šterkopísku netříděného I. (pískovna Obruby)	t	3 162	52	164 424
3	Rozprostření šterkopísku tl. 15cm s hutněním	m ²	10 540	26	274 040
4	Úprava zemin pojivem CEM III/B 32,5 N-LH/SR 6 % - tl.50cm (předpokládaný pojezd frézou s dávkováním pojiva 3x, hutněním a nivelací graderem do projektem požadovaných sklonů) viz. cenová nabídka ZBA GeoTech	m ²	10 540	226	2 382 040
				Celkem	3 168 324

Tabulka 36: Celková cena za provedení úpravy zemin hydraulickým pojivem CEM III/B 32,5 N-LH/SR

5.8. Vyhodnocení konečného návrhu úpravy aktivní zóny hydraulickým pojivem

Z výsledků průkazních zkoušek a provedeného ekonomického zhodnocení navrhuji pro úpravu aktivní zóny komunikací a zpevněných ploch využití hydraulického pojiva CEM III/B 32,5 N-LH/SR, které jsem uvedl výše. Návrh vyhovuje požadavkům ČSN EN 14227-13 pro násypové těleso i aktivní zónu všech tříd podloží.

Pro pokládku a mísení zeminy s pojivem CEM III/B 32,5 N-LH/SR je možné použít původní zeminu typu F8 CH a ŠP jako směsi, přičemž doporučuji, aby zemina byla udržována v přípustném intervalu vlhkosti (- 5 % až + 3 %) od optimální vlhkosti.

Zvlhčování zeminy doporučuji provádět přímo do frézy již při zlepšování. Po zahutnění je nutné průběžně udržovat povrch zeminy vlhký za pomoci kropicího vozu. Je nutné počítat s tím, že jen k samotné hydrataci 100 kg cementu je zapotřebí 30 L vody. Vlhkost zeminy je třeba sledovat průběžně a případné změny korigovat množstvím vody dodávané do zeminy. Technologie hutnění včetně strojové sestavy bude upřesněna na základě výsledků polních zkoušek in situ. Počet pojezdů frézy bude dán technologickým postupem zhotovitele a na základě hrudkovitosti zeminy za frézou podle TP94. Ilustrační postup provádění je znázorněn na Obrázek 27.



rozprostřený ŠP obruby a dávkování pojiva



dávkovač cem. pojiva BSP240 s šířkou sypání 240 cm



těžká zemní fréza WIRTGEN 2000
mísení do 50 cm při šířce 200 cm



příměs záměsové přídavné vody z autocisterny
do rotoru frézy



rovnání do ± 0 autogrejdrem s nivelací
řízenou laserem



hutnění vibračním válcem hmotnosti 20 tun

Obrázek 27: Ilustrace postupu provádění úpravy aktivní zóny

Upravená zemní pláň bude zhotovena v souladu s požadavky projektové dokumentace a to tak, aby po běhounu hutničího stroje nebyly znatelné stopy. Povrch zemní pláně by měl být homogenní a uzavřený po celé ploše. Vrstva upravené zeminy se zhutňuje postupně od krajů ke středu při střežovitém sklonu a od spodního okraje po předhutněný horní okraj při jednostranném sklonu pláně. Jednostranný sklon doporučuji provádět i v násypových vrstvách a to z důvodu plynulého odvádění případných srážkových vod.

Zkoušení daných technologických celků za pomoci nepřímého stanovení míry zhutnění (SZD, LDD) doporučuji nejdříve po 60ti hodinách od provedení úpravy a to z důvodu

eliminování případných nevyhovujících výsledků při dřívějším odzkoušení. Pojivo CEM III/B 32,5 N-LH/SR má pomalý počáteční vývoj pevnosti a na rozdíl od jiných poživ je u něj zapotřebí přiměřeně prodloužit časový interval vlastního zkoušení daného celku. Na výsledky přímého stanovení míry zhutnění nemá tato doba žádný vliv.

Výše uvedená doba zkoušení je pouze orientační a je nezbytné ověřit uvažovanou predikci za pomoci polních zkoušek in situ kvůli dosažitelnosti cílových únosností. V případě nevyhovujících výsledků statických zatěžovacích zkoušek je zapotřebí tento časový interval přiměřeně prodloužit.

Doba zpracovatelnosti zlepšených zemin podle zkoušek vývoje tuhnutí od výrobce je stanovena na 290 minut.

Veškeré práce na staveništi musí splňovat podmínky TKP staveb pozemních komunikací – kapitola 4 zemní práce, TP 94 – Úprava zemin a příslušných ČSN.

DISKUZE

Na základě vyhodnocení podkladů a vlastního zkoumání lze konstatovat:

- Objemové změny jílovitých zemin v lokalitě Mladá Boleslav – Plazy vznikly již chybným vyhodnocení předběžného inženýrsko-geologického průzkumu, kdy v odebraných vzorcích byly popsány polohy shluků sádrovce a drobně vysráženého krystalického sádrovce.
- Prvotní návrh úpravy zemin (aktivní zóny) nerespektoval v té době již známé nebezpečí jílovitých zemin obsahujících sádrovce a byla předběžně navržena úprava pomocí CaO. Chybný předběžný návrh umocnila velmi agresivní podzemní voda (vysoký obsah síranů).
- Skutečnost nevhodného návrhu provádění úprav zemin neodhalila ani zpracovaná realizační dokumentace stavby.
- Z archivních podkladů je též patrná nedostatečná kontrola provádění zemních těles. Jejich spádování, nedostatečné odvodnění zemních plání do funkčního drenážního systému a v neposlední řadě nedodržení konstrukčních vrstev komunikací a zpevněných ploch.
- Je k zamyšlení, proč po prvotním vzniku objemových změn zemin projevujících se zvlněním zámkové dlažby komunikace popř. popraskáním cementobetonových krytů odstavných ploch, které byly přisouzeny zatopení areálu v důsledku nadměrných dešťových srážek, došlo opětovně k chybě v nesprávném návrhu sanace (úpravy zemin) aktivní zóny pojivem s obsahem CaO a tím podpoření vzniku objemových změn. Tato sanace byla provedena již v době platnosti TP 94 – Úprav zemin, kde je upozornění na úpravu zemin v agresivním prostředí.

ZÁVĚR

V souladu se zadáním jsem provedl posouzení příčiny vzniku poruch zpevněných ploch v areálu Mladá Boleslav – Plazy na základě souhrnného zhodnocení výstupů archivních průzkumů a posudků zabývajících se tímto problémem, projektové dokumentace stavby, terénního šetření v prostoru areálu, charakteru a rozsahu těchto poruch, makroskopického popisu průzkumných vrtů realizovaných v místě poruch i mimo ně a výsledků laboratorních prací v podobě komplexu zkoušek, chemických rozborů, analýz rentgenovou difrakcí a silikátových analýz.

S ohledem na zjištěné skutečnosti konstatuji, že vznik stávajících poruch komunikací v podobě vybouleného a popraskaného povrchu je způsoben objemovými změnami stávající zlepšené zeminy aktivní zóny. Původním materiálem aktivní zóny byly v místě poruch deluviální a eluviální jíly s vysokou až velmi vysokou plasticitou obsahující jak velký podíl jílových minerálů (celkově cca 40 %), tak především síranu ve formě drobně krystalického sádrovce (laboratorně zjištěný podíl místy až cca 8 %). V důsledku zlepšení těchto zemin pojivy s obsahem CaO (nejprve 4 % CaO, poté 5 % Dorosol C50) došlo vlivem chemické reakce ke vzniku dvou minerálů ettringitu a thaumasitu, které jsou velmi náchylné k objemovým změnám při změně vlhkosti. Přítomnost těchto minerálů s celkovým podílem cca 15 % byla potvrzena rentgenovou difrakcí ve vzorku nabobtnalé stabilizace v místě poruchy. Zvětšení objemu této stabilizace oproti původní nezlepšené zemině o téměř 50 % bylo rovněž potvrzeno její velmi nízkou suchou objemovou hmotností 965 kg/m^3 (objemová hmotnost původního jílu zhruba 1570 kg/m^3).

Spouštěcím mechanismem bobtnání takto nevhodně zlepšené zeminy bylo zvýšení její vlhkosti, které mohlo být způsobeno zaplavením areálu na jaře 2013 a nedostatečným odvodněním zemní pláně z důvodu zcela chybějícího drenážního systému a tím akumulací srážkové vody v konstrukčních vrstvách, tak i kapilárním vzlínáním vody s vysokou přirozenou výtlačnou výškou (až v úrovni aktivní zóny), která byla zcela opomenuta. Lokalizace a rozsah takovýchto poruch zpevněných ploch v rámci celého areálu poměrně odpovídá zjištěným geologickým poměrům (tj. výskytu zemin náchylných k objemovým změnám v případě použití stabilizace s obsahem CaO). Výraznější a četnější poruchy se vyskytují v severní části území, kde se v blízkosti povrchu (v úrovni aktivní zóny) vyskytují deluviální až deluvio-eluviální jíly s vysokým obsahem jílových minerálů a sádrovce. Naopak méně četné a méně výrazné poruchy se vyskytují v jižní části území s výskytem deluvio-

fluviálních písčitojílovitých zemin s nižším obsahem jílových minerálů i sádrovce. Výraznější poruchy jsem pozoroval též v prostoru a okolí povrchů tvořených zámkovou dlažbou, kterou snadno infiltruje srážková voda podložních konstrukčních vrstev.

Míra rizika vzniku i rozsahu takovýchto poruch je tak dána kombinací **4 základních faktorů** (podmínek) v podobě obsahu **jílových minerálů** v zemině, obsahu **síranů** ve formě sádrovce, obsahu **CaO** v použité stabilizaci a dostatečného přísunu **vody** pro vznik chemických reakcí (vznik ettringitu a thaumasitu) a následného bobtnání upravené zeminy.

Všechny tyto faktory byly při návrhu zemních těles v projektové dokumentaci zcela opomenuty, dokonce nebyly realizovány drenáže pro odvodnění zemních plání.

Obdobné specifické poruchy nevhodně upraveného podloží zpevněných ploch v prostředí jílovitých zemin s vysokým obsahem sádrovce (síranů) jsou ve světě poměrně známou věcí. Na problematiku úpravy na sírany bohatých zemin upozorňuje rovněž TP 94 Ministerstva dopravy ČR - Úprava zemin z roku 2013.

Tento případ jasně ukazuje na důležitost kvalitní přípravy stavby obzvláště v komplikovaných geotechnických poměrech, vyhodnocení všech rizik, spolupráce jednotlivých účastníků stavby, výběr odborného zhotovitele stavby a důraz na důkladnou kontrolu při samotné realizaci stavby. Jen tak lze předcházet chybám, které se následně musí řešit ekonomicky a technicky náročným způsobem.

POUŽITÁ LITERATURA

- ČSN 72 1191. *Zkoušení míry namrzavosti zemin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. 12 s. Třídící znak 92782.
- ČSN 73 1005. *Inženýrskogeologický průzkum*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. 48 s. Třídící znak 731005.
- ČSN 73 6133. *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 68 s. Třídící znak 84654.
- ČSN 73 6186. *Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti a okamžitého indexu únosnosti in situ*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 12 s. Třídící znak 87456.
- ČSN EN 13286-2. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivky – Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Proctorova zkouška*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 32 s. Třídící znak 736185.
- ČSN EN 14227-1. *Směsi stmelené hydraulickými pojivky – Specifikace – Část 1: Směsi z kameniva stmelené cementem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. 32 s. Třídící znak 736156.
- ČSN EN 206-1 *Beton – část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001. 72 s. Třídící znak 732403.
- ČSN EN ISO 14688-1. *Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování zemin Část 1: Pojmenování a popis* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003. 16 s. Třídící znak 721003.
- ČSN EN ISO 14688-2. *Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování hornin Část 2: Zásady pro zařídování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. 24 s. Třídící znak 721003.
- ČSN EN ISO 14689. *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování, popis a klasifikace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. 36 s. Třídící znak 721005.
- ČSN EN ISO 17892-1. *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 1: Stanovení vlhkosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015. 16 s. Třídící znak 721007.
- DIN 18196:2011-05. *Erd- und Grundbau – Bodenklasifikation für bautechnische Zwecke*. Deutsche Institut für Normung, 2011. 13 s.
- TKP 4. *Zemní práce*. Ministerstvo dopravy Odbor pozemních komunikací, 2017. 28 s.
- TP 94. *Úprava zemin*. Ministerstvo dopravy Odbor pozemních komunikací, 2013. 52 s.
- Báňské projekty Teplice a.s.. *Projektová dokumentace skutečného provedení stavby*, 2012.

Borši, Milan. *Inženýrsko-geologický průzkum Mladá Boleslav – výrobní, skladová a obchodní zóna*, Teplice, 2006. 16 s.

GeoTec – GS, a.s.. *Hydrogeologická studie*, Teplice, 2014. 24 s.

Keller, P. *Gipskeuper: Baugrundrisiken durch die Bildung von Ettringit-Thaumasit*, Ostfildern, 2002. 387-400s. ISBN: 978-3-924813-49-9

Kollmann, H. *Experimentelle Untersuchungen über Treibkernbildungen. Giessener Geologische Schriften*, Heft Nr. 9. 1976

Müllauer, Wolfram, *Die Mechanismen des Sulfatangriffs - Einfluss von Bindemittelzusammensetzung und Umgebungsbedingungen*. 17. ibausil, Bauhaus-Universität Weimar. 2009. 218s

Rozsypal Alexandr. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Bratislava: Jaga Group. 2005. 191 s. ISBN80-88905-44-3

Sedlák, Petr. *Odborný posudek pro účely projednání reklamace díla*. Qualiform Brno, 2015. 48 s.

Stark, J., Freyburg, S., Knorr, M.. *Schadigende Ettringitbildung durch Schichtsilikate bei Bodenstabilisierung mit hydraulischen Bindemitteln*. 17.ibausil, Bauhaus-Universität Weimar. 2009. 56 s

Stark, J., Wicht, B. *Dauerhaftigkeit von Beton - Der Baustoff als Werkstoff*. Hrsg. F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar. 2001. 156 s

Tomášek, J.. *Průzkumpodloží vozovky zpevněné plochy v místě poruch a stanovení příčin jejich vzniku*, Praha. 2017. 42 s

Tröger W. (1969). *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, Teil 2*. Textband. - E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 822 s.

Tuček, Peter. *Zakládání staveb*. Bratislava: Jaga Group, 2005, 285 s.ISBN80-8076-023-3.

Veselý, Jiří. *Hodnotící zpráva – Zkušební laboratoř mechaniky zemin*, Báňské projekty Teplice, 2013. 28 s.

Vybíral, Robert. *Výrobní a provozní hala; podrobný inženýrsko-geologický průzkum*, Liberec, 2002. 32 s.

Witt, Karl Josef. „*Erdbau*“ in *Grundbau-Taschenbuch, Teil 2. Geotechnische Verfahren*, Berlin, 2018. 1-164 s

¹ http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2008/12/prednaska1_final.pdf

² <https://www.mineral.cz/jeskyne-krystalovych-obru-clanek-2007040401.html>

PŘÍLOHY

Příloha A – Fotodokumentace poruch (Hudek, 2021)















Příloha B – Předběžný inženýrsko-geologický průzkum (Borši, 2006) – vybrané geologické vrty

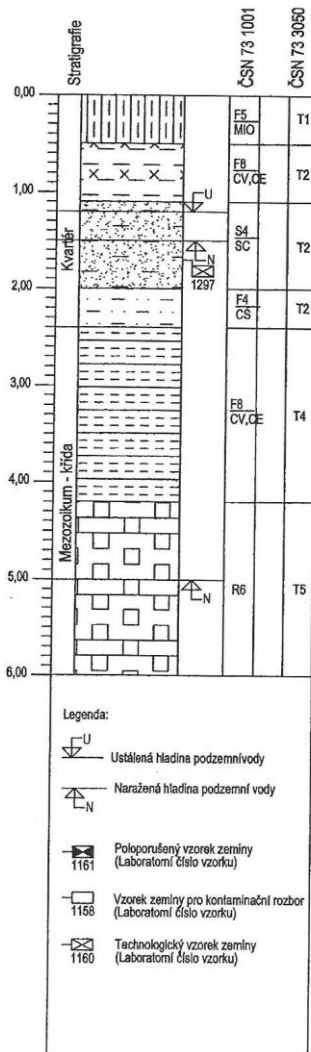
1713/DUR

AG-6-07803/20

PROFIL VRTU

Obec: Plazy	Data provedení: 3.5.2006	Sonda: JV-2
Souřadnice x 1 011 651 y 700 642 z 210,72 (B.p.v.)	Podrobná mapa Líst:	
Účel: inženýrsko-geologický		Měřítko: 1:500
Způsob vrtání: jádrové, rotační	Vrtmistr: p.Matěják	Zaměřil: Ing.Jahn
Souprava: UGB Matěják	Vzorkář:	Profiloval: RNDr.Borši

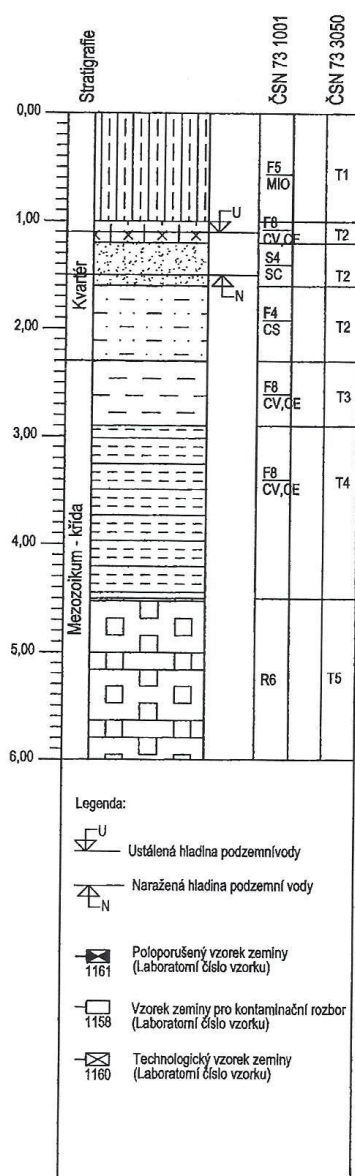
jádrové, rotační



č.	Mocnost	Popis hornin	Celk.hĺoubka
1.	0,50	Omice - hlína černohnědá, humózní, jílovitá, tuhá	0,50
2.	0,60	Jíl - světle žlutohnědý, prachovitý, s četnými shluky vysráženého bílého sádrovce, místy drobně krystalického, tuhý	1,10
3.	0,90	Písek - žlutošedý, středně zrnitý, jílovitý, na bázi zvodnělý středně ulehlý	2,00
4.	0,50	Jíl - světle žlutohnědý, silně středně písčité, tuhý na bázi poloha silně písčité s valouny železitého pískovce a křemene do 5cm	2,50
5.	1,70	Jíl - šedý, ve směsi s rozvětrými úlomky slínu velikosti do 1cm, pevný	4,20
6.	1,80	Slín - tmavě šedý, vrstevnatý, rozvětralý, desítkovitě odlučný úlomky velikosti do 5cm, tloušťky do 7mm, v ruce lámavé pevný až tvrdý	6,00
Hladina podzemní vody: N: -1,70m a -5,00m U: -1,20m			
Vzorky zeminy: 1,50 - 2,00 technologický vzorek			

PROFIL VRTU

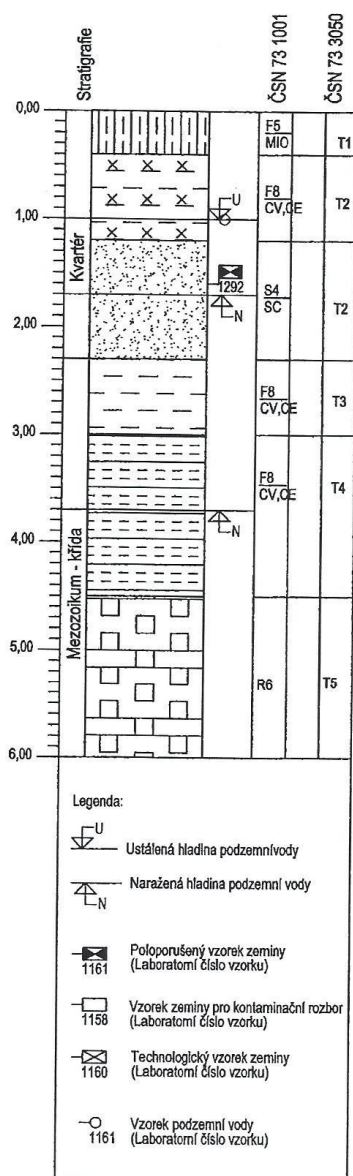
Obec: Plazy	Data provedení: 3.5.2006	Sonda: JV-3
Souřadnice x 1 011 781 y 700 619 z 211,27 (B.p.v.)	Podrobná mapa List:	
Účel: inženýrsko-geologický	Měřítka: 1:500	
Způsob vrtání: jádrové, rotační	Vrtmistr: p.Matěják	Zaměřil: Ing.Jahn
Souprava: UGB1VS	Vzorkař:	Profiloval: RNDr.Borší



č.	Mocnost	Popis hornin	Celk.hĺoubka
1.	1,00	Omice - hlína čemohnědá, humózní, jílovitá, tuhá	1,00
2.	0,20	Jíl - světlé žlutohnědý, prachovitý, s čelnými shluky vysráženého bílého sádrovce, místy drobně krystalického, tuhý	1,20
3.	0,40	Písek - žlutošedý, středně zrnitý, slabě jílovitý, středně ulehký	1,60
4.	0,70	Jíl - světlé žlutohnědý, slabě písčité, tuhý	2,30
5.	0,60	Jíl - šedý, tuhý až pevný	2,90
6.	1,60	Jíl - šedý, ve směsi s rozvětralými úlomky slínů velikostí do 1cm, pevný	4,50
7.	1,50	Slín - tmavě šedý, vrstevnatý, rozvětralý, desčičkovitě odlučný úlomky velikostí do 5cm, tloušťky do 7mm, v ruce lámatelné pevný až tvrdý	6,00
Hladina podzemní vody: N: -1,50m U: -1,10m			
Vzorky zemín: nebyly odebrány			

PROFIL VRTU

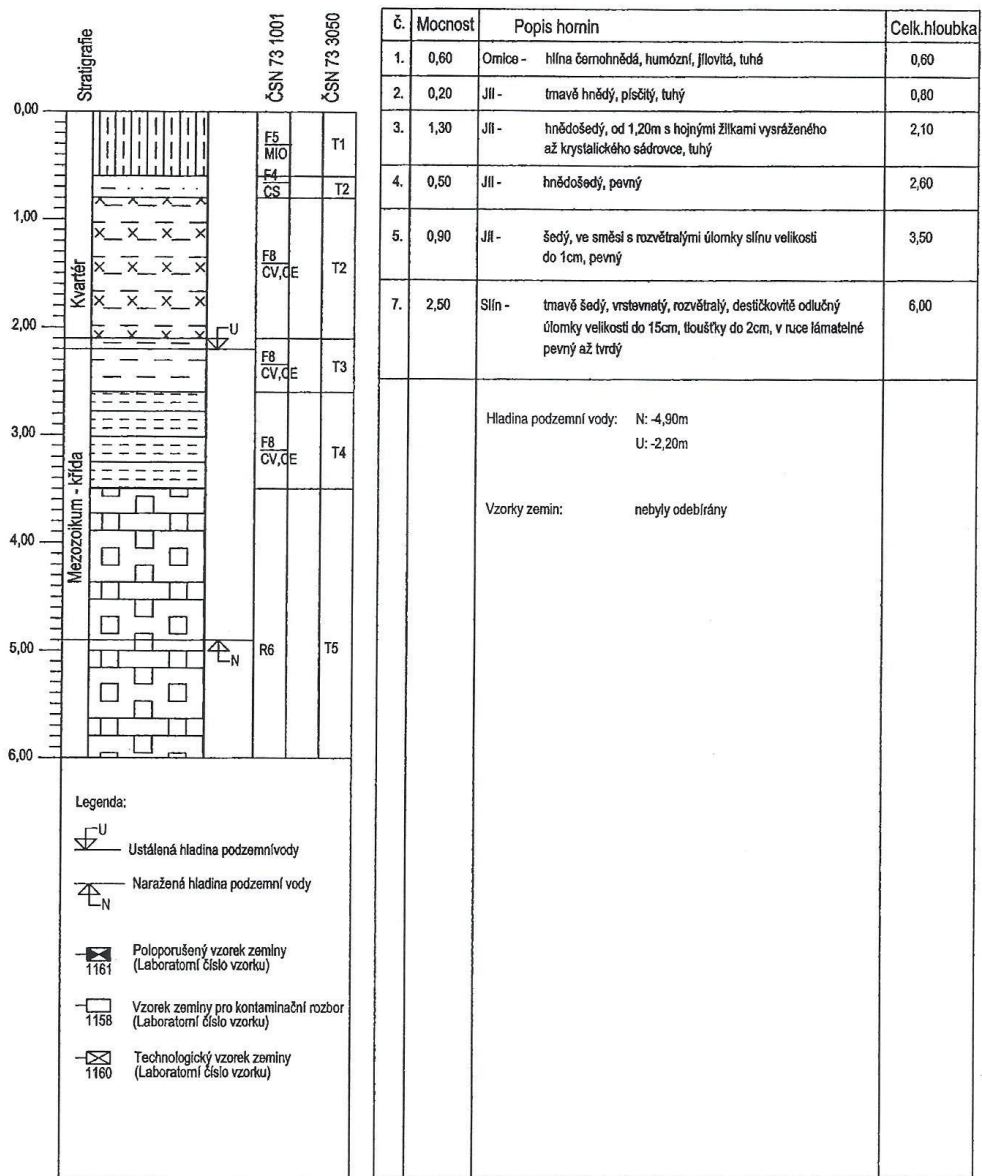
Obec: Plazy	Data provedení: 3.5.2006	Sonda: JV-4
Souřadnice x 1 011 700 y 700 568 z 210,73 (B.p.v.)	Podrobná mapa List:	
Účel: inženýrsko-geologický	Měřítko: 1:500	
Způsob vrtní: jádrové, rotační	Vrtmistr: p.Matěják	Zaměřil: Ing.Jahn
Souprava: UGB1VS	Vzorkař:	Profiloval: RNDr.Borší



č.	Mocnost	Popis hornin	Celk.hloubka
1.	0,40	Omice - hlína černohnědá, humózní, jílovitá, tuhá	0,40
2.	0,80	Jíl - světle žlutohnědý, prachovitý, s četnými smluky vysráženého bílého sádrovce, místy drobně krystalického, tuhý	1,20
3.	1,10	Písek - žlutošedý, středně zrnitý, slabě jílovitý, s ojedinělými propláskky písčitého jílu do 10cm, moký, středně ulehlý	2,30
4.	0,70	Jíl - šedý, tuhý až pevný	3,00
5.	1,50	Jíl - šedý, ve směsi s rozvětralými úlomky slínu velikosti do 1cm, pevný	4,50
6.	1,50	Slín - tmavě šedý, vrstevnatý, rozvětralý, destičkovitě odlučný úlomky velikosti do 5cm, tloušťky do 7mm, v ruce lámatelné pevný až tvrdý	6,00
Hladina podzemní vody: N: -1,30m a -3,70m U: -1,00m Odebrán vzorek odzemní vody Vzorky zemín: 1,50 - 1,70m PPV			

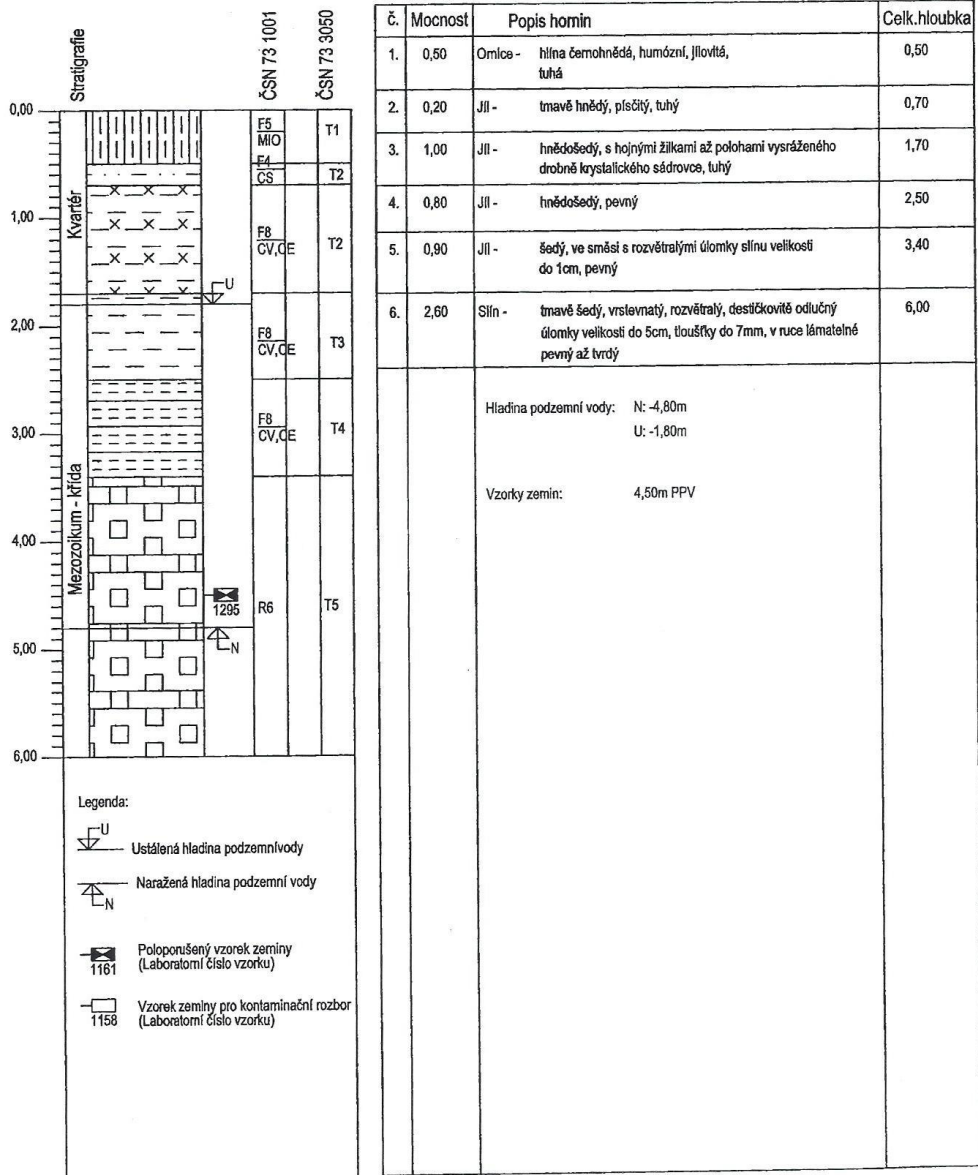
PROFIL VRTU

Obec: Plazy	Data provedení: 4.5.2006	Sonda: JV-5
Souřadnice x 1 011 572 y 700 525 z 211,89 (B.p.v.)	Podrobná mapa List:	
Účel: inženýrsko-geologický	Měřítko: 1:500	
Způsob vrtání: jádrové, rotační	Vrtmistr: p.Matěják	Zaměřil: Ing.Jahn
Souprava: UGB1VS	Vzorkař:	Profiloval: RNDr.Borší



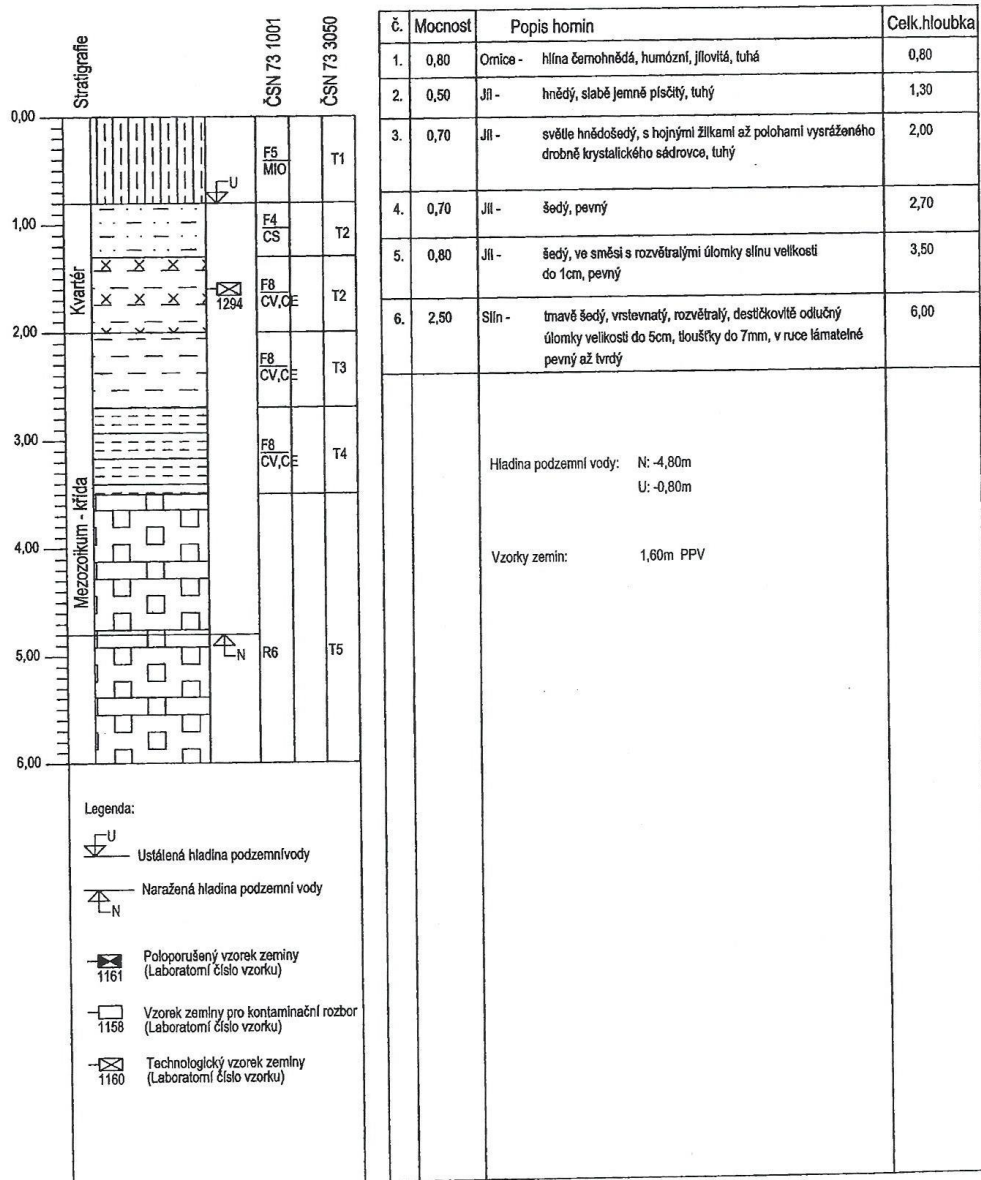
PROFIL VRTU

Obec: Plazy	Data provedení: 4.5.2006	Sonda: JV-6
Souřadnice x 1011 544 y 700 367 z 211,99 (B.p.v.)	Podrobná mapa List:	
Účel: inženýrsko-geologický	Vrtmistr: p.Matěják	Měřítko: 1:500
Způsob vrtání: jádrové, rotační		Zaměřil: Ing.Jahn
Souprava: UGB1VS	Vzorkař:	Profiloval: RNDr.Borši



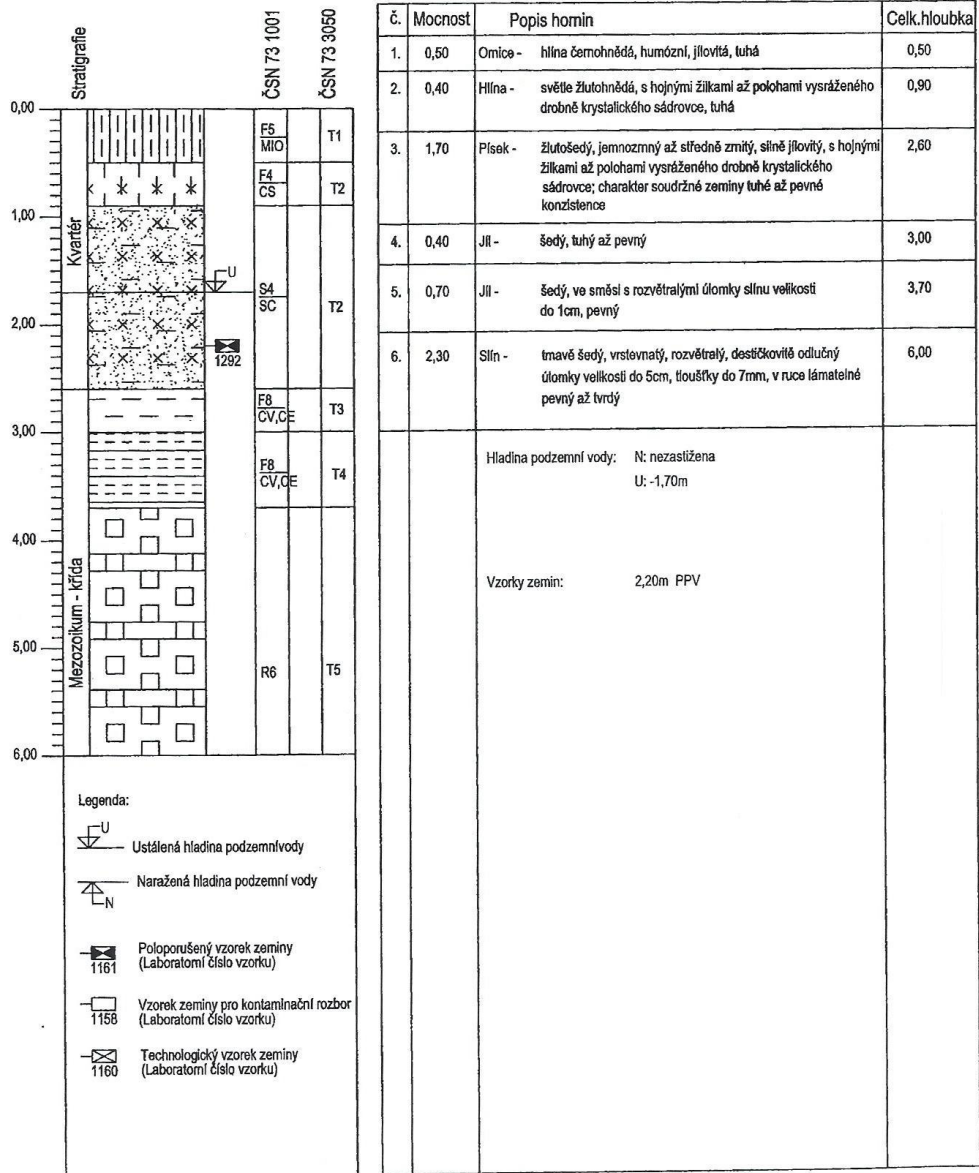
PROFIL VRTU

Obec: Plazy	Data provedení: 4.5.2006	Sonda: JV-7
Souřadnice x 1 011 506 y 700 211 z 211,80 (B.p.v.)	Podrobná mapa List:	
Účel: inženýrsko-geologický	Vrtmistr: p.Matěják	Měřítka: 1:500
Způsob vrtání: jádrové, rotační	Souprava: UGB1VS	Zaměřit: Ing.Jahn
	Vzorkař:	Profiloval: RNDr.Borši



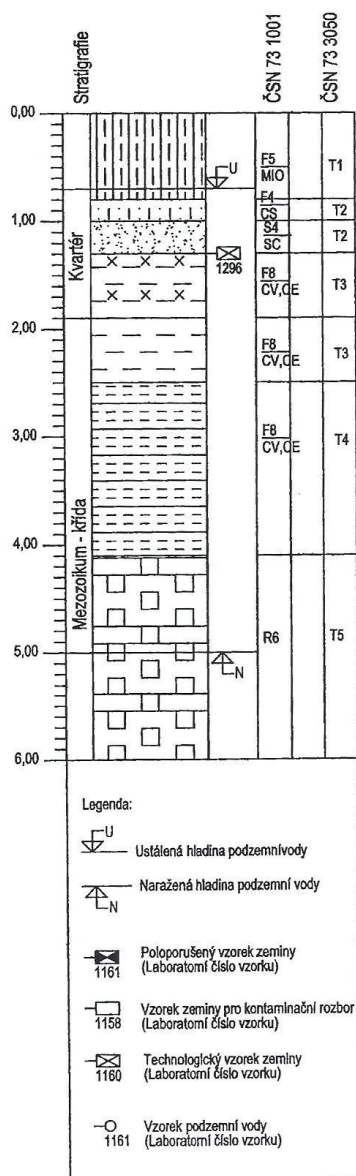
PROFIL VRTU

Obec: Plazy	Data provedení: 4.5.2006	Sonda: JV-8
Souřadnice x 1 011 700 y 700 411 z 210,90 (B.p.v.)	Podrobná mapa List:	
Účel: inženýrsko-geologický		Měřítko: 1:500
Způsob vrtní: jádrové, rotační	Vrtmistr: p.Matěják	Zaměřil: Ing.Jahn
Souprava: UGB1VS	Vzorkař:	Profiloval: RNDr.Borší



PROFIL VRTU

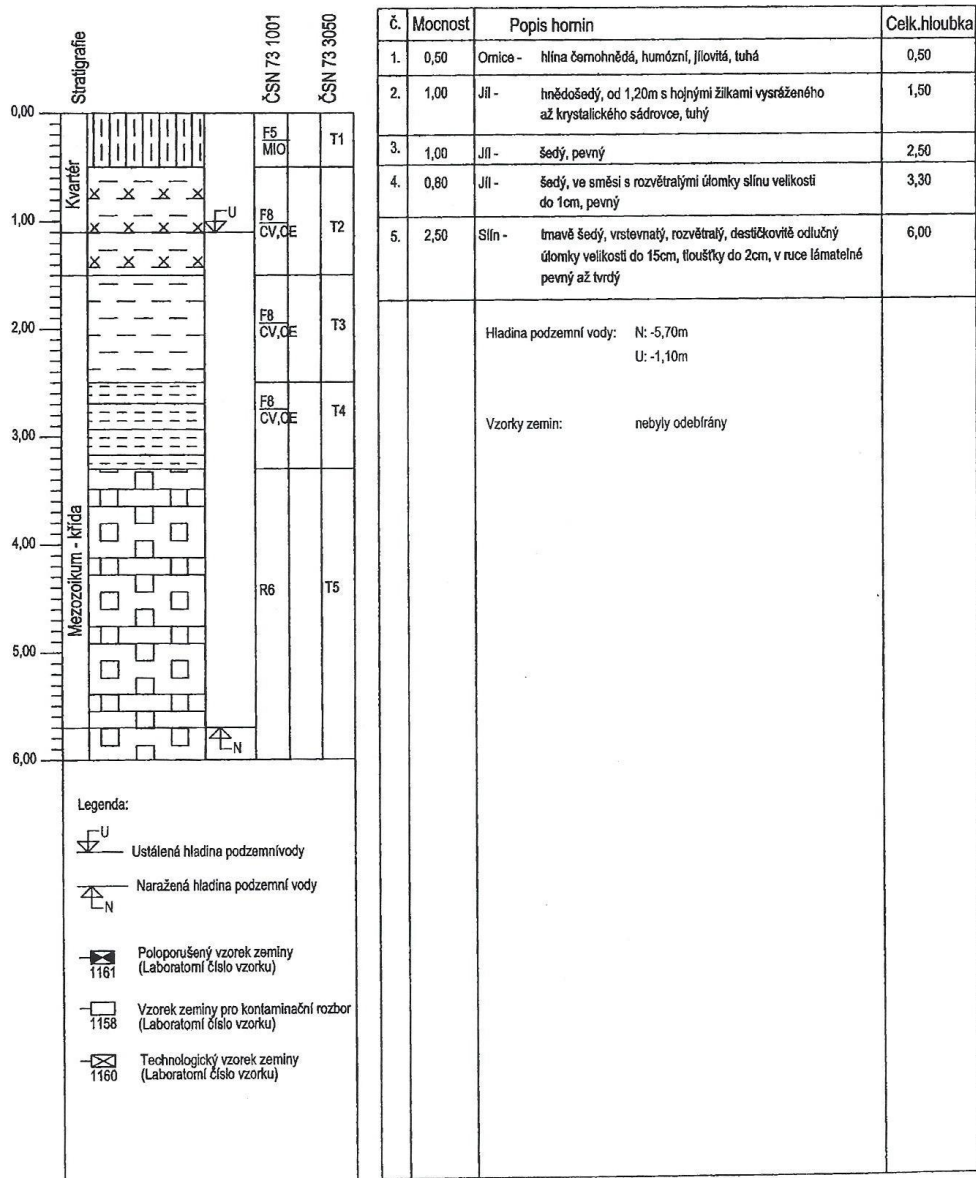
Obec: Plazy	Data provedení: 4.5.2006	Sonda: JV-9
Souřadnice x 1 011 650 y 700 248 z 211,25 (B.p.v.)	Podrobná mapa List:	
Účel: inženýrsko-geologický		Měřítko: 1:500
Způsob vrtání: jádrové, rotační	Vrtmistr: p.Matěják	Zaměřil: Ing.Jahn
Souprava: UGB1VS	Vzorkař:	Profiloval: RNDr.Borší



č.	Mocnost	Popis hornin	Celk.hloubka
1.	0,80	Omice - hlína čemohnědá, humózní, jílovitá, tuhá	0,80
2.	0,20	Hlína - hnědá, písčítá, tuhá	1,00
3.	0,30	Písek - žlutošedý, hrubozrný až středně zrnitý, slabě jílovitý	1,30
4.	0,60	Jíl - žlutohnědý, šedě laminovaný, silně jemně písčítý při bázi hojně žilky až polohy vysráženého drobně krystalického sádrovce, tuhý	1,90
5.	0,60	Jíl - šedý, pevný	2,50
6.	1,60	Jíl - šedý, ve směsi s rozvětralými úlomky sílnu velikosti do 1cm, pevný	4,10
7.	1,90	Sílín - tmavě šedý, vrstevnatý, rozvětralý, destičkovitě odlučný úlomky velikosti do 5cm, tloušťky do 7mm, v ruce lámavelné pevný až tvrdý	6,00
Hladina podzemní vody: N: -5,00m U: -0,70m Vzorky zemín: 1,20 - 1,50m technologický			

PROFIL VRTU

Obec: Plazy	Data provedení: 4.5.2006	Sonda:
Souřadnice x 1 011 612 y 700 069 z 211,28 (B.p.v.)	Podrobná mapa List:	JV-10
Účel: inženýrsko-geologický		Měřítko: 1:500
Způsob vrtání: jádrové, rotační	Vrtmistr: p.Matěják	Zaměřil: Ing.Jahn
Souprava: UGB1VS	Vzorkař:	Profiloval: RNDr.Borší



Báňské projekty Teplice a.s.
Zkušební laboratoř mechaniky zemín
Kollárova 11, 415 36 Teplice

Strana: 777
Počet výisků: 2
Výisk číslo:

STANOVENÍ POMĚRU ÚNOSTNOSTI ZEMIN - CBR Podle ČSN 72 1016

Laboratorní číslo: 1297
Akce: Skladová zóna Mladá Boleslav
Sonda: JV 2
Hloubka odběru: 0,5-1,0 m
Popis zeminy: Jíl žlutohnědý, prachovitý

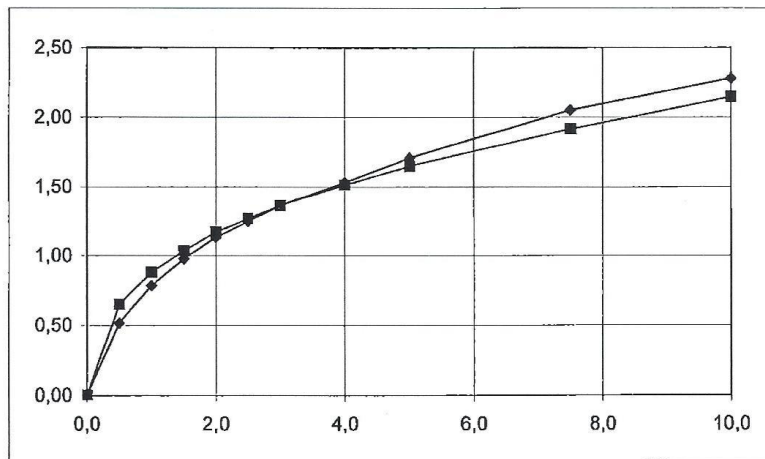
Výška vzorku: 120 mm
Průměr vzorku: 152 mm

Maximální objem. hmotnost dle PCS: kg/m³
Optimální vlhkost dle PCS: %

Sycení vzorku: ne
Doba zrání vzorku:

Penetrace	horní povrch	dolní povrch	průměr
Objemová hmotnost suchá před zkouškou [kg/m ³]	-	-	1679
Objemová hmotnost suchá po zkoušce [kg/m ³]	1675	1679	1677
Vlhkost před zkouškou [%]	-	-	18,0
Vlhkost po zkoušce [%]	18,2	18,0	18,1
Kalifornský poměr	při zatlačení 2,5 mm	9,43	9,58
únosnosti CBR [%]	při zatlačení 5,0 mm	8,52	8,23
			8,38

Kalifornský poměr únosnosti CBR - výsledná hodnota	[%]	8,38
---	------------	-------------



Datum provedení zkoušky: 18.5.2006
Zkoušku provedl(a): Marek Petráček

STANOVENÍ POMĚRU ÚNOSTNOSTI ZEMIN - CBR Podle ČSN 72 1016



Laboratorní číslo: 1299
Akce: Skladová zóna Mladá Boleslav
Sonda: JV 2
Hloubka odběru: 0,5-1,0 m
Popis zeminy: Jíl žlutohnědý, prachovitý stabilizovaný 2% CaO

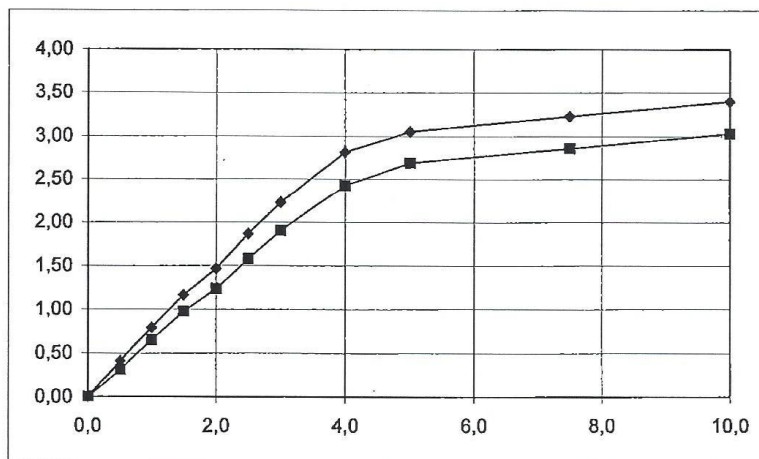
Výška vzorku: 120 mm
Průměr vzorku: 152 mm

Maximální objem. hmotnost dle PCS: kg/m³
Optimální vlhkost dle PCS: %

Sycení vzorku: ne
Doba zrání vzorku: 72hod

Penetrace	horní povrch	dolní povrch	průměr
Objemová hmotnost suchá před zkouškou [kg/m ³]	-	-	1756
Objemová hmotnost suchá po zkoušce [kg/m ³]	1765	1751	1758
Vlhkost před zkouškou [%]	-	-	15,9
Vlhkost po zkoušce [%]	18,0	18,9	18,4
Kalifornský poměr při zatlačení 2,5 mm	14,12	11,93	13,02
únosnosti CBR [%] při zatlačení 5,0 mm	15,24	13,42	14,33

Kalifornský poměr únosnosti CBR - výsledná hodnota [%] 14,33



Datum provedení zkoušky: 18.5.2006
Zkoušku provedl(a): Marek Petráček

STANOVENÍ POMĚRU ÚNOSTNOSTI ZEMIN - CBR Podle ČSN 72 1016

Laboratorní číslo: 1298
Akce: Skladová zóna Mladá Boleslav
Sonda: JV9
Hloubka odběru: 1,2-1,5 m
Popis zeminy: Písek jílovitý stabilizovaný 2% CaO

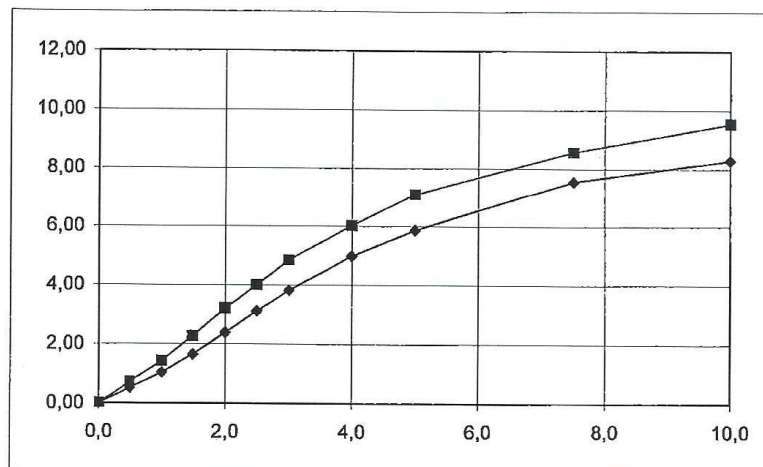
Výška vzorku: 120 mm
Průměr vzorku: 152 mm

Maximální objem. hmotnost dle PCS: kg/m³
Optimální vlhkost dle PCS: %

Sycení vzorku: ano
Doba zrání vzorku: 72hod


Penetrace		horní povrch	dolní povrch	průměr
Objemová hmotnost suchá před zkouškou [kg/m ³]		-	-	1944
Objemová hmotnost suchá po zkoušce [kg/m ³]		1958	1965	1962
Vlhkost před zkouškou [%]		-	-	11,4
Vlhkost po zkoušce [%]		13,5	13,1	13,3
Kalifornský poměr únosnosti CBR [%]	při zatlačení 2,5 mm	23,50	30,32	26,91
	při zatlačení 5,0 mm	29,30	35,48	32,39

Kalifornský poměr únosnosti CBR - výsledná hodnota	[%]	32,39
---	------------	--------------



Datum provedení zkoušky:
Zkoušku provedl(a):


18.5.2006
 Marek Petráček



CEMEX

TECHNICKÝ LIST
GEOROAD

CO₂



Uhlíková stopa CO₂:
ukazatel zatížení životního prostředí.

- Pomalu tuhnoucí hydraulické pojivo vyráběné se mletím portlandského slínku, elektrárenského popílku, popř. odprašky z rotační cementářské pece a dále se používá vysokopecní struska a sádrovec, jako regulátor tuhnutí nebo smísením cementu s odpraškou z rotační cementářské pece.
- Georoad je vyráběn a zkoušen podle podnikové normy PN FCP 72 2127.
- Materiál je určen jako pojivo pro výrobu stabilizovaných podkladů dle norem řady ČSN EN 14227.

POUŽITÍ

- Georoad se používá v souladu s technickými normami pro hydraulicky propojené podkladní spojovací vrstvy, stabilizaci zemin a zlepšování zemin pod nejrůznější druhy komunikací
- vzhledem ke svým vlastnostem je vhodným pojivem pro podkladní spojovací vrstvy
- použitím tohoto materiálu vzniká zhutnitelná struktura, která neobsahuje spoje, nepraská, má vysokou únosnost a odolnost proti působení mrazu

VLASTNOSTI

- vyrábí se kombinovaným mletím slínku a hydraulických komponent dle normových specifikací a skládá se pouze ze složek s hydraulickou reakcí
- chování pojiva při tuhnutí je přizpůsobeno požadavkům na konečné vlastnosti podkladních vrstev
- je vysoce odolný proti síranům
- zeminy obsahující sírany se dají stabilizovat materiálem bez výskytu problémů způsobených rozpínáním

ZPRACOVÁNÍ

- Georoad se snadno aplikuje za použití běžných zařízení a pracovních metod
- vmíchávání do půdy se provádí nejčastěji mísením na místě
- ve vlhkém prostředí reaguje alkalicky
- v případě kontaktu s pokožkou se musí důkladně opláchnout vodou
- dostane-li se do očí, je zapotřebí ihned vyhledat lékařskou pomoc



- Vysokopecní cement síranovzdorný je vyráběn a zkoušen v souladu s harmonizovanou normou ČSN EN 197-1 ed. 2 Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití.
- Vysokopecní cement síranovzdorný CEM IIB 32,5 N LH-SR je hydraulické pojivo, které se vyrábí mletím portlandského slínku se struskou, síranem vápenatým, doplňujícími složkami a přísadami.
- Garantována je minimální pevnost v tlaku 32,5 MPa po 28 dnech a minimální počáteční pevnost 16 MPa po 7 dnech.

SLOŽENÍ CEMENTU DLE EN 197-1

Druh cementu	Složení (poměry složek podle % hmotnosti)		
	Slínek	Struska	Doplňující složky
CEM III	20-34	66-80	0-5

- Druh, kvalita a množství hlavních i doplňujících složek se odvíjí od požadavků technické normy EN 197-1.
- Do uvedeného poměru složek není započítán síran vápenatý, který se přidává jako regulátor tuhnutí, ani případné přísady usnadňující výrobu nebo upravující vlastnosti cementu.

POUŽITÍ

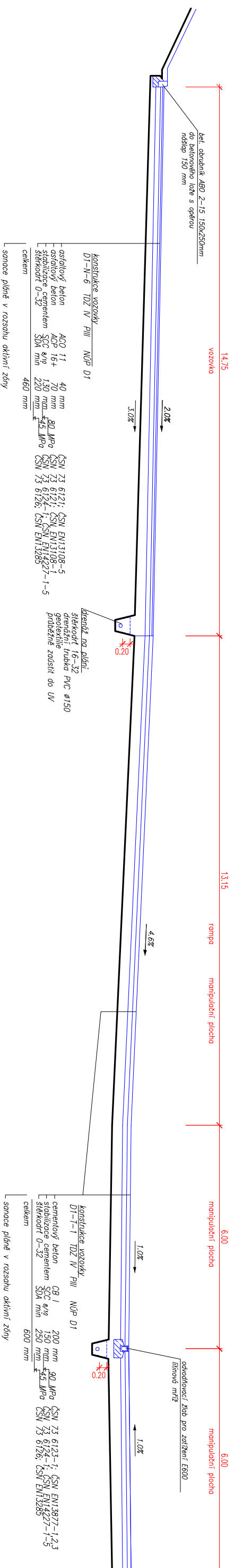
- velkoobjemové a velkoplošné betonáže
- prostý a vyztužený beton
- základové stavby
- vodní stavby (jezy, přehrad, ...)
- vhodný do agresivního prostředí (čističky, opěrné zdi, ...)
- zdící cementové malty

VLASTNOSTI

- lepší zpracovatelnost a dosažení vyšší pohledovosti betonů
- pomalejší nárůst počátečních pevností, eliminace smršťovacích trhlin
- vysoká konečná pevnost
- nižší výkon hydratačního tepla pod 270 J/g při procesu tuhnutí a tvrdnutí
- nízká počáteční pevnost

Příloha F – Vzorový příčný řez vozovkou a manipulační plochou (2 x A4)

VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ VOZOVKOU A MANIPULAČNÍ PLOCHOU



VYPRACOVAN		Bc. Jan Hudek Dipl. Tech.	VEP
DOP. PŘEDKONTROL			HIP
KONTROLA/VL			
MÍSTO		Mladá Boleslav	
INVESTOR			
STAVBA			
Mladá Boleslav			
Kommunikace a zpevnění plochy			
SOUS			
VYKRES		ARCH. ČÍSLO	8_2021