



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

DVOUFÁZOVÝ SYSTÉM STABILIZACE PODLOŽÍ VOZOVEK

DOUBLE-STAGE SYSTEM OF SUBGRADE STABILIZATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Monika Švarcová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|------------------------|---|
| Student | Bc. Monika Švarcová |
| Název | Dvoufázový systém stabilizace podloží vozovek |
| Vedoucí práce | doc. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D. |
| Datum zadání | 31. 3. 2018 |
| Datum odevzdání | 11. 1. 2019 |

V Brně dne 31. 3. 2018

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

ČSN EN 13286-2 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkost - Proctorova zkouška (2003)

ČSN EN 13286-47 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání (2004)

ČSN 72 1191 Zkoušení míry namrzavosti zemin (1988)

TP 94 Úprava zemin v podloží vozovek

výzkumné zprávy 2010 - 2018

výstupy z výzkumných projektů (open sources)

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Seznámit se podrobně s problematikou zkoušení upravených jemnozrnných zemin s možností aplikovat tyto znalosti při zkoušení vybraných nevhodných zemin pro podloží vozovky. Pro nevhodné zeminy provést klasifikační fyzikálně mechanické zkoušky se zatříděním. Navrhnout vhodná pojiva pro úpravu, zlepšení vlastností jednofázovou nebo vícefázovou stabilizací pojivem. Z výsledků zkoušek doporučit další využití vícefázové úpravy nevhodné zeminy, příp. upozornit na problémy s technologií vícenásobného zlepšování vlastností jemnozrnných zemin. Soustředit se na hodnocení namrzavosti a únosnosti v závislosti na době zrání stabilizovaných směsí.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

doc. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na úpravu vlastností nevhodných nebo podmíněčně vhodných jemnozrnných zemin pojivem za využití jednofázového nebo dvoufázového systému úpravy. Teoretická část se zabývá problematickými vlastnostmi jemnozrnných zemin v podloží vozovky a možnou technologií úpravy těchto vlastností. Dále je zde popsáno laboratorní zkoušení upravených zemin a technologické provedení jednofázové a dvoufázové úpravy zemin. V praktické části jsou jemnozrnné zeminy upraveny buď jednofázově nebo dvoufázově. Při jednofázové úpravě je použit cement, při dvoufázové je zemina nejdříve zlepšena vápnem a poté stabilizována cementem. Upravené zeminy jsou podrobeny zkoušce okamžitého indexu únosnosti IBI a kalifornského poměru únosnosti CBR, zkoušce pevnosti v tlaku a zkoušce namrzavosti. Na základě výsledků zkoušek je vyhodnocen přínos dvoufázové úpravy oproti jednofázové.

KLÍČOVÁ SLOVA

Jednofázová úprava/stabilizace, dvoufázová úprava/stabilizace, zlepšení, chemická úprava, jemnozrnné zeminy, nevhodné zeminy, podmíněčně vhodné zeminy, podloží vozovky, kalifornský poměr únosnosti CBR, okamžitý index únosnosti IBI, pevnost v tlaku, namrzavost, hodnoty methylenové modře

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on the properties of unsuitable and conditionally unsuitable fine-grained soils after a one-stage or two-stage treatment by using a binder. The theoretical part occupies with problematical properties of the fine-grained soils in a subgrade and a possible technology of the change of these properties. The laboratory testing of treated soils is described and a practical technology of the one-stage and two-stage stabilization. In the practical part the fine-grained soils are treated by one-stage or two-stage stabilization. For the one-stage stabilization the cement is used, for the two-stage stabilization the properties of the soil are improved by lime and then the soil is stabilized by cement. The treated soils are laboratory tested, the initial bearing index IBI, California bearing ratio CBR, unconfined compressive strength and frost susceptibility is tested. Based on the results of the laboratory tests the benefit of the two-stage stabilization is measured.

KEYWORDS

One-stage treatment/stabilization, two stage treatment/stabilization, improvement, chemical treatment, fine-grained soils, unsuitable soils, conditionally unsuitable soils, subgrade, California bearing ratio CBR, initial bearing index IBI, unconfined compressive strength, frost susceptibility, methylene blue value

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Monika Švarcová *Dvoufázový systém stabilizace podloží vozovek*. Brno, 2019. 84 s., 54 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Dvoufázový systém stabilizace podloží vozovek* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 8. 1. 2019

Bc. Monika Švarcová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Dvoufázový systém stabilizace podloží vozovek* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 8. 1. 2019

Bc. Monika Švarcová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu diplomové práce, doc. Ing. Dušanu Stehlíkovi, Ph.D., za odborné vedení a ochotné poskytnutí rady i pomoci v průběhu vypracování mé diplomové práce. Děkuji také panu Strakovi za přátelský přístup a technickou výpomoc při provádění zkoušek.

Dále bych chtěla poděkovat mé rodině a blízkým za podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| 1. ÚVOD | 10 |
| 2. CÍLE | 11 |
| <u>ČÁST 1. – TEORETICKÁ ČÁST</u> | 12 |
| 3. PODLOŽÍ VOZOVKY | 13 |
| 3.1. Charakteristika podloží vozovky | 13 |
| 3.2. Materiály podloží vozovky | 13 |
| 3.3. Druhy zemin | 13 |
| 4. ÚPRAVA ZEMIN | 16 |
| 4.1. Mechanická úprava..... | 17 |
| 4.2. Chemická úprava jemnozrnné zeminy – jednofázová | 17 |
| 4.2.1. Vápno | 18 |
| 4.2.2. Cement..... | 20 |
| 4.2.3. Popílek..... | 21 |
| 4.2.4. Vysokopeční struska | 22 |
| 4.2.5. Směsná pojiva | 22 |
| 4.3. Chemická úprava jemnozrnné zeminy – dvoufázová | 24 |
| 4.4. Vyztužování podloží | 25 |
| 5. ZKOUŠENÍ UPRAVENÝCH ZEMIN | 27 |
| 5.1. Zkouška CBR a IBI | 27 |
| 5.2. Pevnost v tlaku..... | 29 |
| 5.3. Namrzavost | 31 |
| 5.4. Zkouška methylenovou modří | 32 |
| 6. PROVÁDĚNÍ ÚPRAVY ZEMIN V PRAXI | 34 |
| 6.1. Návrh úpravy zemin | 34 |
| 6.2. Technologie provádění | 35 |
| 6.2.1. Úprava na místě | 35 |
| 6.2.2. Úprava v míchacím centru | 36 |
| 7. ZAHRANIČNÍ ZKUŠENOSTI | 37 |
| 7.1. Jednofázová úprava | 37 |
| 7.2. Dvoufázová úprava | 38 |
| <u>ČÁST 2. – PRAKTICKÁ ČÁST</u> | 40 |
| 8. CHARAKTERISTIKA PRAKTICKÉ ČÁSTI | 41 |
| 8.1. Zemina | 41 |
| 8.1.1. Odběr zeminy..... | 41 |

| | |
|---|-----------|
| 8.1.2. Zpracování a uchování zemin | 42 |
| 8.2. Pojivo | 43 |
| 8.3. Laboratorní postup | 44 |
| 9. KLASIFIKAČNÍ ZKOUŠKY ZEMIN | 45 |
| 9.1. Zkouška zrnitosti | 45 |
| 9.2. Stanovení konzistenčních mezí | 47 |
| 9.2.1. Mez tekutosti | 47 |
| 9.2.2. Mez plasticity | 49 |
| 9.3. Zatřídění zemin | 50 |
| 10. LABORATORNÍ ZKOUŠKY PRO ZKOUŠENÍ SMĚSÍ | 52 |
| 10.1. Zkoušené směsi | 52 |
| 10.2. Postup výroby směsí | 52 |
| 10.3. Proctorova zkouška | 54 |
| 10.4. Zkouška pro stanovení IBI a CBR | 58 |
| 10.5. Pevnost v tlaku | 62 |
| 10.5.1. Výroba zkušebních těles | 62 |
| 10.5.2. Zkoušení těles | 64 |
| 10.6. Zkouška namrzavosti | 67 |
| 10.7. Zkouška methylenovou modří | 70 |
| 11. ZÁVĚR | 73 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 77 |
| SEZNAM TABULEK | 80 |
| SEZNAM GRAFŮ | 81 |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 82 |
| SEZNAM PŘÍLOH | 84 |
| PŘÍLOHY | 85 |

1. ÚVOD

Při realizaci dopravních staveb je častým problémem výskyt nevyhovujícího podloží vozovky, na kterém nelze zahájit výstavbu pozemní komunikace. I přesto, že by byla použita silná a kvalitní konstrukce vozovky, jako celek by pozemní komunikace postavená na nevyhovujícím podloží nefungovala. Dostatečně kvalitní a únosné podloží je pro výstavbu komunikace nepostradatelné.

Kvalita podloží závisí na materiálu, který se v podloží nachází. V případě zemin lze specifikovat tři základní skupiny – zeminy vhodné, podmíněně vhodné a nevhodné pro použití bez úpravy do aktivní zóny nebo násypu. Úpravou zeminy je myšleno zlepšení jejích fyzikálních a mechanických vlastností. Provádění úpravy je buď chemické, mechanické nebo je k úpravě zeminy použito vyztužení geosyntetiky. Do aktivní zóny nebo násypu lze bez úpravy použít pouze vhodné zeminy. Zeminy nevhodné se musí upravit vždy. Zeminy podmíněně vhodné se upravují v závislosti na dalších parametrech. V naprosté většině případů je úprava zeminy výhodnější než její odtěžení a nahrazení jiným materiálem.

Tato práce je zaměřena na chemickou úpravu jemnozrnných zemin pojivy. Technologie chemické úpravy podloží vozovky byla poprvé realizována přibližně před 25 lety v Německu. Dnes je široce využívanou technologií, vede ke zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností jemnozrnné zeminy a tím ke zvýšení únosnosti podloží. Využívá se pro jemnozrnné zeminy, které mají problematické vlastnosti – sklony k objemovým změnám, jsou citlivé na vlhkost, často bývají plastické a mají malou únosnost. Tyto zeminy jsou nevhodné, případně podmíněně vhodné pro použití do aktivní zóny nebo násypu bez úpravy.

Nejčastěji využívaným pojivem je vápno nebo cement, dále lze využít například popílký, strusku, směsná pojiva či jiná chemická činidla. Mechanismus úpravy jemnozrnných zemin může být jednofázový nebo dvoufázový. Při jednofázové úpravě jemnozrnné zeminy je použit jeden druh pojiva, případně pojivo směsné. Při dvoufázové úpravě je jemnozrnná zemina nejdříve mísená s vápnem a posléze s určitým časovým odstupem s cementem. Tento systém by měl eliminovat nedostatky, které přináší jednofázová úprava zemin.

Po chemické úpravě se původně nevhodná jemnozrnná zemina stane vhodným materiálem do podloží vozovky. Důležité je klást při úpravě zemin důraz na co největší zhodnocení místního materiálu. Pokud je zemina v podloží vozovky dobře upravena, výrazně se zlepší její fyzikální a mechanické vlastnosti a dojde k podstatnému zlepšení únosnosti podloží. Z dříve nevhodné nebo podmíněně vhodné jemnozrnné zeminy se po dvoufázové úpravě stane kvalitní podloží, díky kterému je možné redukovat tloušťku podkladních vrstev a snížit tak náklady na výstavbu komunikace.

2. CÍLE

Cílem teoretické části práce je popsat možnosti, které nabízí jednofázová a dvoufázová úprava jemnozrnných zemin. Práce zahrnuje popis jednotlivých druhů pojiv, jejich účinků na úpravu fyzikálních a mechanických vlastností zeminy a vhodnost jejich použití do různých druhů zemin v podloží vozovky. Dále se práce zaměřuje na laboratorní zkoušky, pomocí kterých se vyhodnocují vlastnosti upravených zemin. V neposlední řadě je zde popsána technologie provádění jednofázové i dvoufázové úpravy.

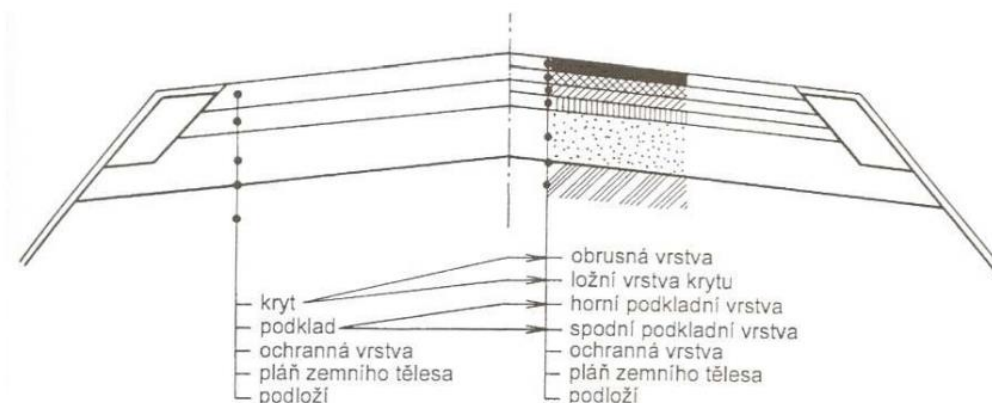
V praktické části je cíleno na srovnání vlastností nevhodných či podmíněčně vhodných zemin po jednofázové či dvoufázové úpravě. Vlastnosti zemin jsou vyhodnoceny na základě konvenčních i funkčních zkoušek zemin. Jedná se o zkoušku pro stanovení okamžitého indexu únosnosti IBI a kalifornského poměru únosnosti CBR dle ČSN EN 13286-47, zkoušku pro stanovení pevnosti v tlaku prováděnou dle ČSN EN 13286-41 a zkoušku pro stanovení namrzavosti dle ČSN EN 72 1192. Na základě výsledků zkoušek se práce snaží zhodnotit přínos dvoufázové úpravy zemin a možnosti jejího využití.

ČÁST 1. – TEORETICKÁ ČÁST

3. PODLOŽÍ VOZOVKY

3.1. Charakteristika podloží vozovky

Podloží vozovky, neboli aktivní zóna vozovky, je jedním ze základních stavebních prvků pozemní komunikace. Funkční konstrukce vozovky musí být postavena na stabilním zemním tělese – násypu nebo zářezu – jehož horní část tvoří dostatečně únosné podloží (aktivní zóna), do kterého se přenáší vliv zatížení vozovkou. V České republice má obvykle tloušťku 0,5 m. [1]



Obr. 1: Konstrukce vozovky zdroj [2]

3.2. Materiály podloží vozovky

V případě násypu může být materiálem v podloží vozovky zemina či sypanina. V případě zářezu se může jednat o zeminu nebo horninu.

Zemina je přírodní zrnitý materiál. Dle velikosti zrn se zeminy dělí na jemnozrné a hrubozrné. Sypanina je směs tvořena zeminami, rozpojenými skalními horninami, recyklovanými stavebními materiály nebo vedlejšími produkty těžby či průmyslové výroby. [1]

3.3. Druhy zemin

Každá zemina má určité specifické vlastnosti, které jsou rozhodující pro její další využití. Na základě těchto vlastností jsou zeminy tříděny do různých skupin. Tento proces se nazývá klasifikace zemin.

Dle zrnitosti se zeminy dělí na jemnozrné a hrubozrné. Hrubozrné zeminy mají obsah jemných částic větší než 35 %, jemnozrné zeminy mají obsah jemných částic menší než 35 %. Jemnozrné zeminy se pak dále klasifikují na základě jejich plasticity. Pokud je zemina klasifikována, respektive je zařazena do určité skupiny zemin, pak lze určit její vhodnost do aktivní zóny nebo násypu dle tabulky v normě ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Zeminy jsou rozděleny na zeminy nevhodné, podmíněčně vhodné a vhodné do aktivní zóny nebo násypu. Zeminy

nevhodné nelze použít bez úpravy. U zemin podmíněčně vhodných se jejich použití s úpravou případně bez úpravy dále prověřuje. Zeminy vhodné lze použít bez úpravy. [1]

Jemnozrnné zeminy bez úpravy jsou nevhodné nebo podmíněčně vhodné pro použití do aktivní zóny nebo násypu. Výjimečně je nelze ani upravit, a to v případě, pokud se jedná o jemnozrnné zeminy s extrémně vysokou plasticitou. Problematika jemnozrnných zemin spočívá v jejich fyzikálních a mechanických vlastnostech. Tyto zeminy jsou objemově nestálé, citlivé na vlhkost a plastické v závislosti na obsahu jílovitých částic. Dále bývají namrzavé a mívají malou únosnost.

Hrubozrnné zeminy jsou buď podmíněčně vhodné nebo vhodné pro použití do aktivní zóny nebo do násypu. Tyto zeminy mají lepší fyzikální a mechanické vlastnosti než zeminy jemnozrnné. Jsou vhodnějším materiálem pro použití do aktivní zóny či násypu i bez úpravy.

Pokud je konstrukce vozovky postavena na podloží ze zemin s nevyhovujícími vlastnostmi, dochází vlivem objemových změn, namrzavosti těchto zemin nebo vlivem nízké únosnosti podloží k deformaci konstrukce vozovky. [3]



Obr. 2: Důsledky deformace podloží vozovky [3]

Tab. 1: Vhodnost zemín pro pozemní komunikace [4]

Tabulka A.1 – Vhodnost zemín pro pozemní komunikace

| 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 | Štěrkovitá hlína | F1 MG | 35 až 65 | | pod čarou A | | X | | | X | |
| 2 | Štěrkovitý jíl | F2 CG | 35 až 65 | | nad čarou A | | X | | | X | |
| 3 | Písčitá 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 ani upravit | | | nelze ani 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 ani upravit | | | nelze ani 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 jemnozrné 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 | Štěrček dobře zrněný | G1 GW | <5 | $C_u > 4$ | $C_c = 1$ až 3 | | | X | | | X |
| 21 | Štěrček špatně zrněný | G2 GP | <5 | Non GW | | | X | | | X | |
| 22 | Štěrček s příměsí jemnozrné zeminy | G3 G-F | 5 až 15 | – | – | | | X | | | X |
| 23 | Štěrček hlinitý | G4 GM | 15 až 35 | – | pod čarou A | | X | | | X | |
| 24 | Štěrček 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 zrnitosti 10 % propadu, d_{30} dtto na 30 % propadu, d_{60} dtto na 60 % propadu.

4. ÚPRAVA ZEMIN

Úprava zemin je proces, který upravuje fyzikální a mechanické vlastnosti zeminy tak, aby upravená směs splnila určený záměr. Mezi fyzikální vlastnosti zemin patří například zrnitost, objemová hmotnost, vlhkost, pórovitost. Mezi mechanické vlastnosti jsou řazeny pevnostní a přetvárné charakteristiky zemin. Cílem úpravy zemin je zvýšení únosnosti, dále také zlepšení zpracovatelnosti, snížení vlhkosti či snížení namrzavosti. [1]

Z hlediska cílů, kterých chceme u upravené zeminy dosáhnout, lze rozlišit úpravu zeminy na zlepšení a stabilizaci.

Zlepšení

Jde o úpravu zemin, kdy jsou po přidání jiného zrnitého materiálu nebo pojiva, zlepšeny vlastnosti zemin např. vlhkost, plasticita, nebo zhutnitelnost.

Zemina je zlepšována za účelem lepší zhutnitelnosti ve vrstvách, lepší zpracovatelnosti nebo možnosti pojíždění pracovními stroji a překrytí další vrstvou. Změny provedené technologií zlepšení mohou mít krátkodobý charakter, kdy nedojde k vyvolání důležitých stálých vlastností.

Stabilizace

Jedná se o úpravu, která mění střednědobé a dlouhodobé vlastnosti zeminy. Za použití jiného zrnitého materiálu nebo pojiva se stabilizuje podloží na požadovanou pevnost a odolnost.

Účelem stabilizace je, aby byla zemina odolnější proti vertikálnímu, horizontálnímu nebo smykovému zatížení. Dále je zde snaha dosáhnout lepší schopnosti odolávat dynamickým zatížením, vodě a mrazu. [5]

Úpravu zemin lze rozdělit na dvě základní kategorie, a to **mechanickou úpravu** a **chemickou úpravu**. Mechanická úprava je provedena smísením zeminy a granulometricky odlišného materiálu. Chemická úprava zemin se provádí smísením zeminy a vhodného pojiva, může být buď jednofázová nebo dvoufázová. Jednofázová úprava je provedena pomocí jednoho druhu pojiva – vápna, cementu, popílku, strusky, směsného pojiva, případně jiných méně obvyklých pojiv. Dvoufázová úprava je provedena kombinací dvou druhů pojiv, která jsou se zeminou mísená ve dvou krocích.

Další možností je úprava podloží **vyztužováním**. Při této úpravě se nemění vlastnosti samotné zeminy (např. zrnitost či plasticita), ale zemina má spolu s výztužnými prvky lepší únosnost. Vyztužení zemin se provádí geosyntetiky.

4.1. Mechanická úprava

Jedná se o úpravu, kdy je granulometricky nevhodná zemina smíšena s jinou zeminou za účelem změny zrnitosti. Tato úprava zlepšuje zpracovatelnost a mechanické vlastnosti zeminy, zvyšuje její smykovou pevnost a snižuje stlačitelnost. Používá se především pro stejnozrné štěrky a písky, případně pro zeminy s nízkým podílem plastických příměsí. [1] [6]

4.2. Chemická úprava jemnozrné zeminy – jednofázová

Chemická úprava je vhodná pro jemnozrné zeminy. Provádí se smísením zeminy s vhodným pojivem. Touto úpravou dochází ke snížení vlhkosti a plasticity zeminy, také je redukováno množství jemných částic v zemině. Dále vede úprava ke zvýšení pevnosti, menším objemovým změnám, snížení deformace, snížení propustnosti a zlepšení namrzavosti zeminy. Celkově se tedy zvyšuje únosnost upravené zeminy. [7]

Mezi nejčastěji používaná pojiva patří vápno a portlandský cement. Dále pak vedlejší produkty průmyslové výroby jako jsou popílký či strusky, případně další chemická činidla.

Ačkoli je vápno a cement nejvyužívanějším pojivem pro úpravu zemin, jejich použití přináší i nevýhody, mezi které patří dopad na životní prostředí, způsobené emisí CO_2 , vysoká spotřeba energie a nákladů. Dalším nebezpečím je přítomnost síranu v pojivu, protože pokud pojivo obsahuje vyšší množství síranu, hrozí expanze zemin. [7]

Výsledné vlastnosti zemin upravených pojivy závisí na konkrétním druhu použitého pojiva a vlastnostech upravované zeminy, mezi které patří zrnitost zemin, jejich chemické složení, plasticita, obsah organických látek, obsah síranu, pH zeminy apod. [7]



Obr. 3: Cement [8]



Obr. 4: Vápno [9]



Obr. 5: Popílek [8]



Obr. 6: Struska [10]

4.2.1. Vápno

Vápno je doporučeno používat pro úpravu jemnozrnných zemin střední a vysoké plasticity, spraší a sprašových hlín. [6]

K úpravě zeminy lze použít nehašené vápno, hašené vápno i vápenné mléko. Nehašené vápno je triviálně nazýváno pálené vápno. Z hlediska chemického složení se jedná o oxid vápenatý CaO , který vzniká chemickým rozkladem vápence. Hašené vápno neboli vápenný hydrát je hydroxid vápenatý Ca(OH)_2 a vzniká reakcí páleného vápna s vodou. Vápenaté mléko je suspenze jemných částic hydroxidu vápenatého. [11]

V České republice se běžně k úpravě zemin používá nehašené vápno CaO . Změny, které nastanou po úpravě jemnozrnných zemin vápnem, lze rozdělit na změny s okamžitým a dlouhodobým účinkem. [6]

Okamžité účinky [6]

- **Vysoušení zeminy**

K vysoušení zeminy, tedy snížení okamžité vlhkosti zeminy, dochází vlivem hydratace vápna. Jedná se o exotermickou reakci, při které dochází ke zvýšení teploty směsi a tím k vypaření části vody. Dále je vysoušení zeminy způsobeno samotným přidáním vápna, které poměrově snižuje hmotnost vody ku hmotnosti suché směsi.

Rovnice hydratace páleného vápna:



- **Zvýšení meze plasticity w_p**

Ke zvýšení meze plasticity w_p dochází bez zásadních změn meze tekutosti w_L . Z toho logicky vyplývá, že zároveň dochází ke snížení indexu plasticity I_p .

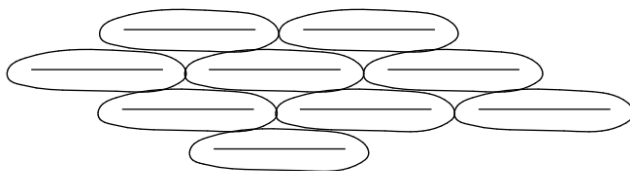
Rovnice pro výpočet indexu plasticity:

$$I_p = w_L - w_p$$

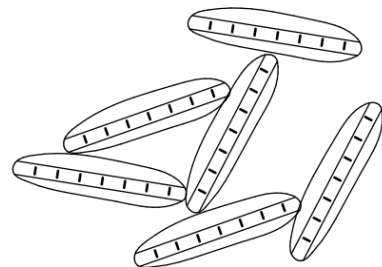
- **Zvýšení optimální vlhkosti**

Po přidání vápna do jemnozrnné zeminy se zvýší optimální vlhkost a sníží maximální objemová hmotnost suché směsi, Proctorova křivka se stane plošší. Zvětší se tedy interval optimální vlhkosti, což znamená, že upravená zemina se stane méně citlivou na vlhkost a snadněji se zhutní na požadovanou maximální objemovou hmotnost suché směsi.

Tyto změny jsou způsobeny reakcí jílovitých minerálů s vápnem. Při reakci dochází k procesu, kdy v krystalové struktuře jílu volné ionty vápníku Ca^{2+} nahrazují ionty sodíku Na^+ a draslíku K^+ , čímž dochází k tzv. flokulaci neboli vločkování jílovitých částic. Struktura minerálu se mění z vrstevnaté, která je typická pro jílovité minerály, na zrnitou. Zvětšuje se tak prázdný prostor mezi částicemi. Výsledný produkt je méně plastický a má lepší zrnitost. [6] [12]



Obr. 7: Proces flokulace – neupravená zemina



Obr. 8: Proces flokulace – zemina upravená vápnem

- **Zvýšení pevnosti zeminy, kalifornského poměru únosnosti CBR a snížení namrzavosti**

Dlouhodobé účinky

- **Pucolánová reakce**

Mezi dlouhodobé účinky patří tzv. pucolánová reakce, což je postupná krystalizace gelu vzniklého reakcí vápna a jílovitých minerálů. Postupnou krystalizací vzniká pevný stmelený materiál. [1]

Působením vápna se uvolňují hydroxilové ionty (OH^-), které vytvoří vysoce zásadité prostředí, jenž umožní rozpouštění oxidu křemičitého a oxidu hlinitého z jílovitých minerálů. Tyto oxidy reagují s vodou a vznikají hydrogely, které postupně krystalizují a vzájemně se strukturně propojují. Výsledkem je tedy zvýšení pevnosti tohoto stmeleného materiálu. [6]

- **Růst kalifornského poměru únosnosti CBR**

Mezi dlouhodobé účinky patří také zvýšení kalifornského poměru únosnosti CBR, ke kterému dochází během několika let. [6]

Vápnem upravené zeminy lze po promísení a zhutnění skladovat až několik měsíců na deponiích a poté znovu těžít. [1]

4.2.2. Cement

Cement je doporučeno používat pro úpravu vlastností jemnozrnných zemin s nízkou plasticitou. Obvykle se nepoužívá pro úpravu půd s indexem plasticity I_p vyšším než 30. Pokud je potřeba upravit zeminu s vysokým indexem plasticity cementem, nejdříve se tato zemina upraví vápnem, čímž dojde k poklesu I_p . [6] [7]

Cement je vyráběn ze surovin vytěžených v lomu, jedná se o vápenec, břidlici apod. Tyto suroviny jsou rozdrceny, namlety a vzniká surovinová moučka. Po vypálení surovinové moučky vznikne slínek, jehož rozemletím se pak získá cement. [13]

Účinky, které u zeminy upravené cementem nastanou se dají rozdělit na okamžité účinky a střednědobé a dlouhodobé účinky. [6]

Okamžité účinky

- **Vysoušení zeminy**

K vysoušení zeminy zde dochází vlivem přidání hydraulického pojiva do zeminy.

- **Modifikace vlastností jílovité frakce zeminy**

Pokud je v hydraulickém silničním pojivu vysoký obsah vápna dochází k flokulaci jílovitých minerálů.

Střednědobé a dlouhodobé účinky

Tyto účinky jsou důsledkem zpevňujících reakcí, které probíhají ve třech etapách.

1. etapa

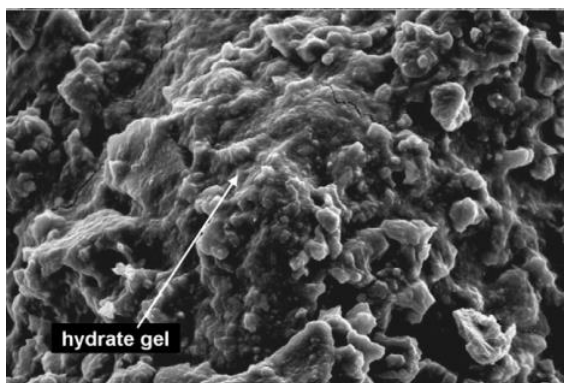
První etapa je označována jako latentní fáze. Tato fáze určuje dobu, po kterou je možné směs zpracovávat. Tato fáze trvá 2-24 hodin, maximálně pak 48 hodin a dochází v ní ke vzniku gelu.

2. etapa

V této etapě dochází ke krystalizaci gelu a zpevňování směsi. Délka této etapy se pohybuje v řádech týdnů.

3. etapa

V této etapě dochází ke zvyšování pevnosti a trvá několik týdnů až měsíců. [6]



Obr. 9: Mikroskopický snímek tvorby hydrogelu [14]

Tab. 2: Orientační hodnoty změn vlastností zemin vztažené na 1 % příměsi pojiva [1]

| Vlastnost zeminy | Působení | Příměs páleného vápna | Příměs cementu |
|---|----------|-------------------------|------------------------|
| Vlhkost | snižuje | 1–2 % | 0,2–0,4 % |
| Max. objemová hmotnost | snižuje | 5–100 kg/m ³ | 6–20 kg/m ⁴ |
| Optimální vlhkost | zvyšuje | 0,5–2 % | beze změny |
| Poměr únosnosti CBR na vzorku zhutněném při zkušební vlhkosti | zvyšuje | 5–50 % CBR | 5–15 % CBR |
| Na vzorku po zrání a následné saturaci | zvyšuje | 5–50 % CBR | 10–50 % CBR |

4.2.3. Popílek

Jelikož používání pojiv jako je vápno a cement je ekologicky a ekonomicky náročné, jsou zde tendence využívat i alternativní pojiva, například popílek. Popílek je vedlejší produkt vyráběný při spalování uhlí v tepelných elektrárnách. Lze ho využívat jako přísadu do cementu, betonových výrobků a také jako pojivo. [7]

Popílků se v závislosti na druhu spalování a spalovaného materiálu liší svým složením. Všechny popílků obsahují oxid vápenatý CaO potřebný k pucolánové reakci. Některé ho však obsahují více a některé méně. Popílků, které obsahují méně oxidu vápenatého CaO by se měly kombinovat s cementem. [7]

Popílků řadíme mezi hydraulická silniční pojiva, kdy směs zeminy, pojiva a vody tvrdne hydraulickou reakcí.

Zvýšení pevnosti

Při použití popílků v jemnozrnné zemině dochází ke zvýšení pevnosti směsi. Růst pevnosti závisí také na plasticitě zemin.

Nárůst hodnoty CBR

Hodnota CBR ve směsi popílku a zeminy roste pomaleji než v případě úpravy zeminy vápnem nebo cementem. Je to způsobeno nižším obsahem volných kationtů Ca^{2+} v popílcích. [6]

4.2.4. Vysokopecní struska

Dalším alternativním pojivem je vysokopecní struska, která je vedlejším produktem při výrobě surového železa ve vysoké peci. Při prudkém ochlazení struskové taveniny se získá granulovaný, sklovitý materiál nazývaný granulovaná vysokopecní struska, po jejímž rozemletí vzniká prášek – mletá granulovaná vysokopecní struska. [7]

Vysokopecní struska je latentně hydraulická látka, jejíž hydraulické reakce jsou velmi pomalé. K urychlení či vybuzení hydratačních procesů se proto využívá aktivátor, kterým může být např. hydroxid vápenatý nebo portlandský cement. [7]

Využití vysokopecní strusky jako pojiva je nejvíce ovlivněno jejím chemickým a mineralogickým složením, přičemž zejména chemické složení vysokopecních strusek je velmi proměnné. Chemické i mineralogické složení ovlivňuje hydraulické vlastnosti vysokopecních strusek. [6]

V České republice se vysokopecní struska jako pojivo do zemin nevyužívá. [6]

4.2.5. Směsná pojiva

Úprava zemin vápnem nebo cementem je velmi využívanou a účinnou metodou, která vede ke zlepšení požadovaných vlastností. Nicméně úprava zemin jedním druhem pojiva má i své nevýhody. Použití pojiv není univerzální. Cement nelze použít na vysoce plastické zeminy, naopak vápno dostatečně neupravuje vlastnosti zemin písčitých. V případě nehomogenity podloží upravovaného úseku, tedy podloží, kde se střídají různé druhy zemin, je v některých úsecích vhodnější použít vápno a v některých cement. [1]

Při úpravě zemin cementem může docházet vlivem rychlého nárůstu pevnosti ke vzniku trhlin. Při úpravě expanzivních plastických zemin pouze vápnem může být zlepšení dočasné, tato úprava nemusí u těchto zemin vést k dosažení trvalé pevnosti. [15]

Ve snaze najít optimální řešení pro úpravu zemin byla vynalezena směsná pojiva. Směsná pojiva obsahují kombinaci vápna a/nebo cementu a příměsí.

Cílem úprav zemin směsným pojivem je:

- Pomalejší nárůst pevnosti
- Vyloučení trhlin
- Odolnost proti klimatickým vlivům
- Trvanlivost vůči síranům, na které je vápno velmi citlivé
- Cenová výhodnost
- Úprava nehomogenních úseků podloží [16]

Doroport TB 25

Doroport TB 25 je vyroben kombinací slínku a hydraulických komponent. Jedná se o složky vykazující pouze hydraulickou reakci. Toto pojivo má velmi dobrou odolnost vůči chemickým vlivům, zejména síranům.

Použitím Doroportu TB 25 vzniká zhutnitelná struktura neobsahující spoje ani trhliny. Směs zeminy s tímto pojivem má dostatečnou únosnost a odolnost proti mrazu. [16]

Dorosol C xx

Dorosol C xx je kombinací vápna, cementu a dalších cementářských výrobků. Procentuální obsah jednotlivých složek ve směsi se může měnit v závislosti na konkrétní zemině.

Při použití Dorosolu Cxx dochází ke snížení vlhkosti směsi a zvýšení odolnosti proti mrazu. Vzniká zhutnitelný podklad vysoké únosnosti.

Dorosol se dávkuje v množství 2–6 % v závislosti na druhu upravované zeminy. [16]

ViaCalco

Na trhu je několik různých druhů pojiva ViaCalco C70, C50 a C30. Jedná se o hydraulickou silniční směs obsahující cement i vápno. Cement způsobuje rychlé zvýšení únosnosti směsi, čímž umožňuje dřívější pojezd upravené zeminy a urychluje postup prací.

Toto pojivo je vhodné pro použití jak do jemnozrnných jílovitých zemin, tak i do prachovitější a písčitéjší půdy. Tato pojiva lze využít k vysušování, úpravě i stabilizaci podloží.

ViCalco 70

Toto hydraulické silniční pojivo obsahuje vysoké množství vápna. Tuto směs je doporučeno používat pro méně soudržné jemnozrnné zeminy. Směs optimalizuje obsah jílu a urychluje možnost pojezdu takto upravené zeminy.

Viacalco 50

Jedná se o hydraulickou směs se středně vysokým obsahem vápna. Tuto směs je doporučeno používat pro méně soudržné jílovité, prachovité či písčité zeminy.

Viacalco 30

Obsahuje nízký podíl vápna. Toto pojivo je doporučeno používat pro prachové a písčité zeminy. [17]

4.3. Chemická úprava jemnozrnné zeminy – dvoufázová

Dvoufázová úprava zemin spočívá v rozdělení úpravy na dva kroky. V prvním kroku je zemina upravena vápnem, poté je ponechána určitá doba (doba zrání) na zreagování vápna a zeminy. Po uplynutí této doby je zemina stabilizována cementem.

V prvním kroku, kdy je zemina upravena vápnem, dojde velmi rychle k reakcím vedoucím ke snížení vlhkosti zeminy, lepší zpracovatelnosti a únosnosti. Sníží se plasticita, zvýší pevnost ve smyku a zlepší zhutnitelnost. Po delší době dojde také k pucolánové reakci, jejíž účinky jsou efektivní až z dlouhodobého hlediska. Pokud chceme, aby k pucolánové reakci došlo dříve a pevnost upravené zeminy vzrostla rychleji, je nutné použít k úpravě zeminy také cement.

Ve druhém kroku se tedy do zeminy přidává cement. Tato úprava vede ke zlepšení mechanických vlastností zeminy, především k nárůstu pevnosti. Cement se do vápnem upravené zeminy přidává až po určité době. Tato doba je potřebná pro proběhnutí okamžitých reakcí mezi zeminou a vápnem, které vedou ke zlepšení vlastností upravované zeminy. Pokud by byl cement přidán do zeminy moc brzy nebo zároveň s vápnem, pak by došlo k reakci cementu s vápnem upravenou zeminou, aniž by zemina byla dostatečně zlepšena. Tento postup by byl velmi neefektivní a nešetrný, protože by nevyužil potenciál, který jednotlivá pojiva při dvoufázové úpravě zemin nabízejí. [14]

Doba zrání je specifická záležitost, která se liší v závislosti na konkrétním druhu zeminy a není obecně specifikována. Různé výzkumné práce se snažily vyhodnotit minimální, respektive optimální dobu zrání, která vede k dostatečné úpravě zeminy vápnem a tím k co nejlepšímu zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností zeminy. Některé práce uváděly dobu zrání 4 hodiny, některé dokonce 1 hodinu. V praxi se většinou aplikuje doba, která vyhovuje technologickým možnostem této úpravy a jedná se přibližně o 12-18 hodin. [15]

Dvoufázová úprava je vhodná pro expanzivní zeminy, u kterých chceme dosáhnout požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností, ale nejdříve je nutné zlepšit její fyzikální vlastnosti. Dále je vhodné ji využít u zemin, které obsahují značné množství jak jílovitých, tak písčitých částic. Zlepšení zeminy vápnem je potřebné ke vzniku flokulace

a snížení počtu jílovitých částic. Následná úprava zeminy cementem slouží ke vzniku pucolánové reakce. [15]

Výhodou dvoufázové úpravy oproti směsným pojivům je lepší hospodaření upravené zeminy s vodou. Pokud je zemina upravena směsným pojivem, které obsahuje vápno, cement a příměsi, může se stát, že voda je spotřebována při hydrataci vápna a na hydraulickou reakci cementu ji nezbyde dostatečné množství. V případě, že je tato problematika řešena přidáním většího obsahu vody do zeminy upravené směsným pojivem, je zde zase riziko boření techniky do upravované zeminy. Při využití dvoufázové stabilizace tato rizika eliminujeme.

Další výhodou použití dvoufázové úpravy je její rychlá dostupnost. Pokud dojde v praxi k situaci, kdy je plánována pouze úprava zeminy vápnem a po jejím provedení není dosaženo požadovaných vlastností, je nutné zvolit vhodný postup, jak tento problém vyřešit. Zde se nabízí využití zkušeností s dvoufázovým systémem úpravy.

Mezi nevýhody patří především technologie provedení, která je logisticky a časově náročnější. Dochází zde ke dvojímu dávkování a míchání a také časové prodlevě mezi první a druhou fází.

4.4. Vyztužování podloží

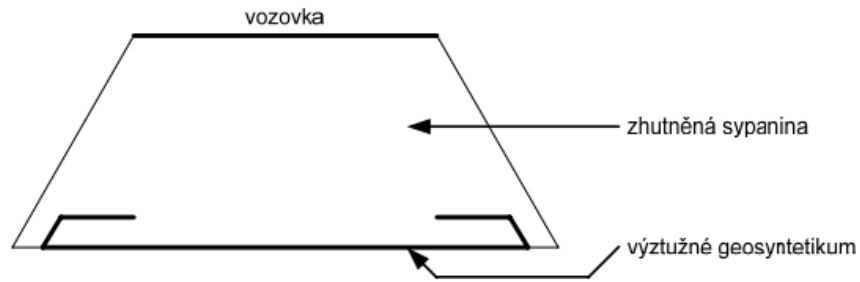
Kromě chemické nebo mechanické úpravy zemin existuje také varianta, kdy je podloží vyztuženo geosyntetiky.

Geosyntetikum je uměle vyrobený materiál na bázi polymeru. Mezi základní druhy geosyntetik patří geotextilie, geomříže, geokompozity a geomembrány. Geosyntetika plní v zemině různé funkce. Může se jednat o funkci separační, filtrační, drenážní, ochrannou, protierozní a výztužnou nebo kombinaci těchto funkcí.

V rámci úpravy podloží je cíleno právě na výztužnou funkci geosyntetik. Jedná se o úpravu, kdy je využito tahových vlastností geosyntetického materiálu za účelem přenesení napětí nebo omezení deformací. [18]

V dopravních stavbách dochází nejčastěji k vyztužení báze násypu. Geosyntetická výztuha je zde uložena na málo únosném stlačitelném podloží, výztuha přenáší smyková namáhání, snižuje celkové deformace a zvyšuje únosnost a stabilitu násypu. [19]

Geosyntetika lze použít v kombinaci s dalšími výztužnými prvky. Mezi další výztužné prvky jsou řazeny vertikální drény, šterkové pilíře nebo hloubková stabilizace. [19]



Obr. 10: Schéma násypu na měkkém podloží s vyztuženou bází [18]

Geosyntetika se využívají ke zvýšení únosnosti podloží násypu. Dle TP 97 nebylo prokázáno zvýšení únosnosti aktivní zóny a použití geosyntetik se tedy pro tento účel nedoporučuje. Naopak prováděcí firmy tvrdí, že vyztužení zeminy geosyntetiky přímo souvisí se zvýšením únosnosti aktivní zóny. [20] [18]

5. ZKOUŠENÍ UPRAVENÝCH ZEMIN

Zkoušení zemin, respektive upravených zemin, lze rozdělit do dvou základních skupin. Jedná se o zkoušky konvenční neboli empirické a zkoušky funkční.

Mezi **konvenční zkoušky** řadíme zkoušku pro stanovení zrnitosti, konzistenčních mezí, zkoušku zhutnitelnosti – Proctorovu zkoušku, zkoušky únosnosti – kalifornský poměr únosnosti CBR a okamžitý index únosnosti IBI, případně zkoušku pevnosti v tlaku nebo příčném tahu.

Zkoušky funkční jsou zkoušky, jejichž cílem je laboratorně nasimulovat podmínky, kterým bude zemina, případně upravená zemina, reálně vystavena při užívání. Cílem je sledovat měřitelné veličiny takto prováděných zkoušek. Mezi funkční zkoušky řadíme stanovení míry namrzavosti zemin a zlepšených zemin nebo cyklickou triaxiální zkoušku. [21]

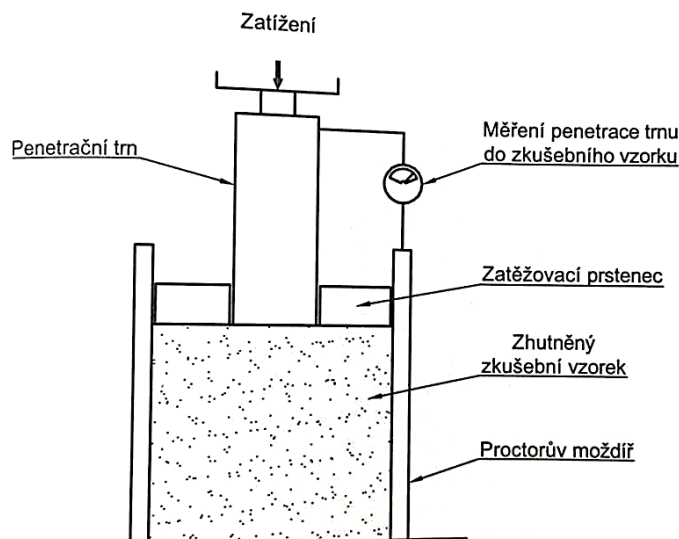
Zkoušky pro stanovení zrnitosti a zkoušky pro stanovení konzistenčních mezí jsou prováděny na neupravených zeminách a slouží ke klasifikaci zemin. Tyto zkoušky jsou podrobně popsány v praktické části v kapitolách 9.1. a 9.2.

Proctorova zkouška slouží ke stanovení optimální vlhkosti, při které je vhodné zeminu (upravenou zeminu) hutnit za účelem dosažení maximální objemové hmotnosti suché směsi, je taktéž popsána v praktické části této práce v 10.3.

5.1 Zkouška CBR a IBI

Kalifornský poměr únosnosti (California Bearing Ratio, CBR) a okamžitý index únosnosti (Immediate Bearing Index – IBI) se používají pro posouzení únosnosti zemin. Tato zkouška je prováděna dle ČSN EN 13286-47 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání. [22]

Zkouška IBI a CBR srovnává pevnost zkoušené zeminy s pevností vztažného materiálu. Při této zkoušce je do zhutněné zeminy zatlačován ocelový trn o průměru 50 mm a je zaznamenávána síla potřebná k zatlačení trnu do určité hloubky. Zkouška se vyhodnocuje jako poměr síly ku standardní síle potřebné k zatlačení trnu do hloubky 2,5 mm a 5 mm. Výsledná hodnota je vyšší z hodnot. [22]



Obr. 11: Zkouška CBR [1]

Kalifornský poměr únosnosti CBR

Při provádění zkoušky CBR jsou zkušební vzorky nejprve vystaveny době zrání a době, kdy je vzorek sycen vodou. Pro upravené zeminy je tato doba stanovena v normě ČSN EN 14 227-15 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 15: Zeminy stabilizované hydraulickými pojivy. Dle této normy jsou tělesa ponechána tři dny zrát a posléze jsou po dobu 4 dní sycena vodou. [23]

Na základě výsledků zkoušky CBR je vyhodnoceno, zda je upravená zemina vhodná do aktivní zóny, případně jako ztužující vrstva do vrstevnatého násypu. [6]

Tab. 3: Požadované hodnoty CBR pro upravené zeminy pro aktivní zónu [6]

| Způsob použití | | Požadované hodnoty ¹⁾ | | |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | | CBR ³⁾ | Minimální vlhkost směsi | Okamžitý index únosnosti |
| Aktivní zóna ²⁾ | Podloží PIII | CBR ₁₅ | W _{0,9} | IBI _{DV} |
| | Podloží PII | CBR ₃₀ | W _{0,9} | IBI _{DV} |
| | Podloží PI | CBR ₅₀ | W _{0,9} | IBI _{DV} |

1) Kategorie podle ČSN EN 14 227–10, 11, 12, 13 a 14.

2) PI, PII, PIII jsou typy podloží podle předpisu TP 170

3) Zhotovení a zrání zkušební tělesa se provádí podle příslušné ČSN EN 14227–10

Okamžitý index únosnosti IBI

Zkouška IBI je prováděna ihned po zhutnění tělesa a udává vhodnost dané zeminy pro použití do násypu/podloží násypu. [6]

Tab. 4: Požadované hodnoty poměru únosnosti upravených zemín v násypu a podloží vozovky [6]

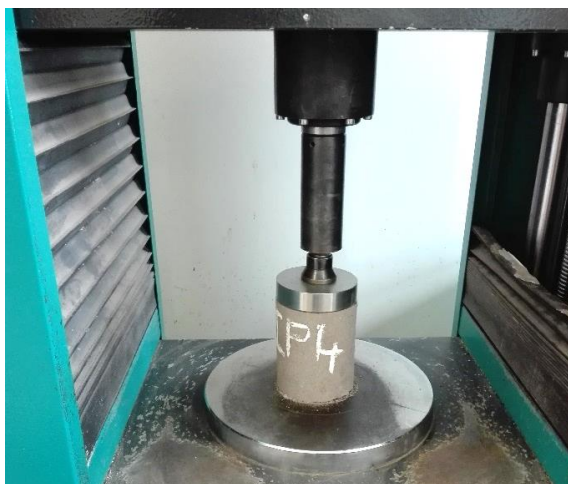
| Způsob použití | Požadované hodnoty ¹⁾ | |
|---|----------------------------------|-------------------------------------|
| | Okamžitý index únosnosti | CBR |
| Podloží násypu | min IBI ₁₀ | |
| Každá technologická vrstva násypu | min IBI ₁₀ | - |
| Ztužující vrstva násypu vrstevnatého, z váteho písku, z popílku upraveného pojiv | - | min CBR ₁₅ ²⁾ |
| 1) Podle ČSN EN 14 227–10, 11, 12, 13 a 14, stanovené při vlhkosti w_{opt} | | |
| Zhotovení a zrání zkušebního tělesa se provádí podle příslušné ČSN EN 14 227–10 až 14 | | |

5.2. Pevnost v tlaku

Zkoušení pevnosti v tlaku u zemín se provádí, pokud se předpokládá, že zemina bude upravena nejen z důvodu zlepšení vlastností podloží, ale také za cílem stabilizace upravené vrstvy vedoucí ke zvýšení její pevnosti a odolnosti. Za určitých podmínek by takto upravená zemina mohla fungovat jako spodní podkladní vrstva.

Pevnost v tlaku je zkoušena na základě normy EN 13286–41 Nestmelené a stmelené směsi hydraulickými pojivy – Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy.

Tato zkouška se provádí na laboratorně vyrobených tělesech, která jsou zkoušena po uplynutí požadované doby zrání. Tělesa jsou centricky umístěna do zkušební lisu, jehož tlačné desky musí být minimálně tak velké jako povrch, na který dosedají. Poté je těleso vystaveno působení jednoosého tlaku, který na těleso působí až do jeho porušení. Zatěžování probíhá plynule po dobu přibližně 30–60 s. Porušené těleso by mělo mít viditelné svislé trhliny.



Obr. 12: Zkouška pevnosti v tlaku

V momentě porušení zkušební vzorku se zaznamená maximální tlaková síla a vypočítá se pevnost v tlaku. Pro charakteristiku směsi je nutné, aby byla její pevnost zkoušena na minimálně třech zkušebních tělesech. Pokud se jedna hodnota odlišuje od průměrné pevnosti více než o 20 %, je z hodnocení vyloučena a průměr se stanoví pouze ze zbývajících dvou těles. [24] [25]

Výsledkem této zkoušky je pevnost v tlaku dané směsi, podle které lze směs zařadit do tříd pevnosti viz tab. 5.

Pro podkladní vrstvy vozovek se v České republice využívají směsi s minimální třídou pevnosti $C_{1,5/2}$. Do této třídy jsou zařazeny zkušební vzorky, které mají štíhlostní poměr 2 a pevnost v tlaku větší než 1,5 MPa nebo vzorky se štíhlostním poměrem 1 mající pevnost v tlaku větší než 2 MPa. [23] [25]

Tab. 5: Klasifikace podle pevnosti v tlaku [23]

| Minimální R_c v MPa pro válce o štíhlostním poměru 2 ^a | Minimální R_c v MPa pro válce o štíhlostním poměru 1 ^a a krychle | Třída R_c |
|---|---|----------------|
| 0,15 | 0,2 | $C_{0,15/0,2}$ |
| 0,4 | 0,5 | $C_{0,4/0,5}$ |
| 0,8 | 1 | $C_{0,8/1}$ |
| 1,2 | 1,5 | $C_{1,2/1,5}$ |
| 1,5 | 2 | $C_{1,5/2}$ |
| 2 | 2,5 | $C_{2/2,5}$ |
| 2,3 | 3 | $C_{2,3/3}$ |
| 3 | 4 | $C_{3/4}$ |
| 4 | 5 | $C_{4/5}$ |
| 5 | 6 | $C_{5/6}$ |
| 6 | 8 | $C_{6/8}$ |
| 8 | 10 | $C_{8/10}$ |
| 9 | 12 | $C_{10/12}$ |
| Deklarovaná hodnota | Deklarovaná hodnota | $C_{D/N}$ |

^a pokud se použijí válcová zkušební tělesa o štíhlostním poměru než 1 nebo 2, musí se před použitím stanovit korelace s válci o štíhlostním poměru 1 nebo 2 s výjimkou Proctorových válcových těles o štíhlostním poměru 1,2 a 0,83, které se použijí stejně jako při štíhlostním poměru 1.

5.3. Namrzavost

Namrzavost zemin se projevuje zvětšením jejich objemu. K tomuto jevu dochází při teplotách nižších než 0 °C a při stálém přísunu vody, který je způsoben kapilárním vzlínáním.

Při působení nízkých teplot na zeminu rozlišujeme dvě fáze. První fáze s namrzavostí zemin nesouvisí. Jedná se o zamrznutí vody v zemině, která se zde nacházela již před začátkem působení mrazových teplot. Zemina začne zvětšovat svůj objem a povrch zmrzlé vrstvy se začne zvedat. Objem vody se při přeměně na led zvětší přibližně o 9 %, zemina pak vykazuje nárůst objemu přibližně o 2-6 % v závislosti na její pórovitosti.

Druhá fáze namrzavosti zemin je zapříčiněna kapilárním vzlínáním. Kapilární voda má větší tendence vzlínat tam, kde už se nachází led. Voda se tedy na led nabaluje a zamrzá. Z nepatrných zmrzlých částí ledu se stávají ledové čočky. Důsledkem tohoto jevu je zvětšení objemu zeminy až o 30 %. Poté, co se oteplí a dojde k roztání těchto ledových čoček, tak nahromaděná voda nemůže okamžitě odtéct, čímž dochází ke snížení únosnosti vrstvy.

Aby došlo ke kapilárnímu vzlínání, musí být zemina vystavena teplotám menším než 0 °C. Doba trvání mrazu a jeho intenzita je vyjádřena pomocí tzv. indexu mrazu. Dále musí být zmrzlá zemina v blízkosti zdroje vody, aby mohlo docházet ke kapilárnímu vzlínání. Zemina musí být také dostatečně propustná, aby umožnila vzlínání vody do určité výšky. Zeminy, kde je tento proces umožněn, se nazývají namrzavé. Pokud jsou zeminy příliš hrubé a kapilární vzlínání neumožňují, řadí se mezi nenamrzavé.

Neupravené zeminy jsou z hlediska namrzavosti hodnoceny pomocí scheiblova kritéria, které namrzavost hodnotí dle zrnitosti zeminy. Toto kritérium dělí zeminy na nebezpečně namrzavé, namrzavé, mírně namrzavé a nenamrzavé.

V případě, že zeminu upravujeme pojivem, nelze využít scheiblovo kritérium. Pro získání spolehlivých výsledků je nutné použít přímou metodu, která napodobuje kapilární sycení zeminy a působení mrazu. [1]

Požívanou zkouškou pro vyhodnocení namrzavosti upravených zemin je ČSN 72 1191 zkoušení míry namrzavosti zemin. Zkouška namrzavosti je řazena mezi zkoušky funkční a jejím cílem je co nejdříve simulovat prostředí, ve kterém se může zemina v podloží nacházet. Vzorek zeminy, respektive zhuštěné válcové těleso, je při této laboratorní zkoušce uloženo do chladicí skříně, po dobu 120 hodin je shora zmrazováno teplotou - 4 °C a zespodu dochází k jeho kapilárnímu sycení. Těleso je uloženo ve formě, která povoluje pouze svislý zdvih vzorku, který je zaznamenáván programem. Pomocí hodnoty svislého zdvihu a indexu mrazu je vypočítána hodnota míry namrzavosti β . [26]

Podle velikosti hodnoty míry namrzavosti β je zemina vyhodnocena jako nenamrzavá, mírně namrzavá až namrzavá nebo nebezpečně namrzavá. [26]



Obr. 13: Zkouška namrzavosti – chladicí skříň [26]

Tab. 6: Kritérium míry namrzavosti [26]

| Míra namrzavosti zemin a materiálů | Průměrná hodnota β |
|------------------------------------|--------------------------|
| Nenamrzavé | <0,25 |
| Mírně namrzavé a namrzavé | 0,25 až 0,50 |
| Nebezpečně namrzavé | >0,50 |

5.4. Zkouška methylenovou modří

Dle zahraničních zkušeností je hodnota methylenové modře považována za důležitý parametr, který vyhodnocuje vhodnost zeminy k úpravě cementem.

Zemina s hodnotou methylenové modře nižší než 10 je vhodná k úpravě cementem, zatímco zemina s hodnotou methylenové modře větší než 10 je k cementaci nevhodná. Z tohoto důvodu jsou jílovité zeminy upraveny nejprve vápnem. Vlivem flokulace se sníží množství jílovitých částic v zemině a změní se tak její zrnitostní struktura. Výrazně se pak sníží hodnota methylenové modře. [12]

Zkouška je prováděna dle normy ČSN EN 933-9+A1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 9: Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří. V České republice je tato zkouška používána pouze pro posouzení jemných částic v kamenivu. Pokud je jemných částí v kamenivu mnoho, adsorpce methylenové modře kamenivem je velká, a tedy i hodnota methylenové modře je vysoká. [27]

Při aplikaci této zkoušky na zkoušení jemnozrnných zemin je princip zkoušení stejný. Čím více obsahuje zemina jemných částic, tím je hodnota methylenové modře vyšší a naopak.



Obr. 14: Zkouška methylenovou modří – sestavení aparatury

6. PROVÁDĚNÍ ÚPRAVY ZEMIN V PRAXI

Při provádění úpravy zemin v praxi jsou na základě laboratorních zkoušek nejdříve vyhodnoceny vlastnosti zeminy. Poté se provedou orientační průkazní zkoušky zeminy, která je určená k úpravě. Vyhodnocením těchto zkoušek je získán návrh na její úpravu. Poté je možné přistoupit k samotné realizaci úpravy. Tedy pomocí vybraného pojiva a technologie upravit vlastnosti zeminy.

6.1. Návrh úpravy zemin

Pro návrh úpravy zemin je potřeba znát základní parametry zemin, které se stanoví pomocí laboratorních zkoušek prováděných v rámci geotechnického průzkumu.

Parametry zemin:

- Klasifikace zemin
- Konzistenční meze
- Přirozená vlhkost
- Maximální objemová hmotnost suché směsi a optimální vlhkost
- Poměr únosnosti CBR bez saturace a po saturaci neupravené zeminy
- IBI neupravené zeminy

V rámci podrobného geotechnického průzkumu se provedou orientační průkazní zkoušky, na jejichž základě je vyhodnocen podrobný návrh úpravy zemin. V průběhu realizace stavby dojde k ověření výsledků orientačních průkazních zkoušek s ohledem na konkrétní druh použitého pojiva a technologii provádění. Při realizaci musí být použito to konkrétní pojivo, které bylo používáno při provádění orientačních průkazních zkoušek. Pokud je k realizaci vybráno pojivo jiné, je nutné orientační průkazní zkoušky opakovat.

Při návrhu úpravy se stanovuje také okamžitý index únosnosti IBI a kalifornský poměr únosnosti CBR upravené zeminy. Dále se stanovuje smyková pevnost zemin a tuhost zhutněné upravené zeminy. V oprávněných případech se stanoví namrzavost upravených zemin.

Požadavky na hodnoty kalifornského poměru únosnosti CBR a okamžitého indexu únosnosti IBI a postupy provádění zkoušek pro vyhodnocení hodnoty CBR, IBI a namrzavosti jsou uvedeny v předchozí kapitole.

Pokud mají upravované zeminy menší vlhkost, než odpovídá 95% míře zhutnění na suché větvi Proctorovy křivky, pak je doporučeno zvýšit obsah vody v zemině, aby došlo k hydrataci vápna. Dále je nutné pomocí průkazních zkoušek ověřit, zda množství pojiva (vápna nebo s vysokým obsahem vápna) není v nadbytečné míře, která by způsobila zvětšování objemu a deformaci konstrukce. [6]

6.2 Technologie provádění

Zeminu lze upravit na místě nebo v míchacím centru.

6.2.1. Úprava na místě

Jednofázová úprava

Pokud jsou vlastnosti zeminy upravovány na místě, pak je předepsaný druh pojiva na stavbu dovezen velkoobjemovým přepravníkem. Z přepravníku se pojivo vsype do dávkovače. Dávkovač je pojízdné zařízení sloužící k rovnoměrnému rozprostření předepsaného množství pojiva v závislosti na rychlosti pojezdu.

Rovnoměrné dávkování pojiva je kontrolováno pomocí plechové vaničky, která je položena před dávkovač. Ze známé plochy vaničky a hmotnosti pojiva nadávkovaného na vaničku se spočítá skutečné dávkování pojiva.



Obr. 15: Dávkovač

Posléze dojde, pomocí zemní frézy, k promísení zeminy s pojivem. Zemní fréza je pracovní nástroj, který pomocí otočného bubnu s hroty mísí zeminu s pojivem do předepsané hloubky, maximálně však do 0,5 m. Zemní frézy se dělí na integrované a závěsné. Závěsné frézy jsou samostatné zařízení připojené na traktor.



Obr. 16: Fréza připojená za traktorem

Zemina promíchaná s pojivem se urovná grejdrem a zhutní vibračními válci s hladkým nebo ježkovým běhounem. Pro konečné zhutnění vrstvy jsou vhodné pneumatikové válce. [6]

Pokud je potřeba upravit zeminu do větší hloubky než 0,5 m, je nutné tuto úpravu provést ve dvou vrstvách. Úprava zeminy ve dvou vrstvách je technologicky náročnější.

Nejdříve dojde k odtěžení zeminy o určité mocnosti a úpravě spodní vrstvy. Poté je odtěžená zemina dovezena zpět, rozprostřena a uhuštěna, aby bylo možné zeminu pojíždět. Následuje úprava horní vrstvy pojivem. [1]

Kvalita provedení úpravy zemin je kontrolována zhušňovací zkouškou. Požadovaná míra zhuštění musí být v celé tloušťce zhušňované vrstvy. Dále se nástřikem roztoku fenolftaleinu měří hloubka promísení a ověřuje se stejnoměrnost promísení. Nástřik fenolftaleinu je proveden v kopané sondě zesponu nahoru, zemina s obsahem vápna zřívá. [1]

V průběhu úpravy zemin je nutné pravidelně měřit odchylku od optimální vlhkosti zeminy. Pokud se vlhkost směsi zvyšuje, je potřeba přidat množství pojiva, pokud se snižuje, musí se zemina přivlhčit. [28]

Úprava zemin vápnem je možná při teplotách zeminy do $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, zatímco úprava zemin pojivy na bázi cementu je možná pouze do $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. [1]

Dvoufázová úprava

Pokud je pro úpravu zemin využita dvoufázová úprava, technologie provedení je podobná.

Dávkovačem je na upravovanou zeminu nejdříve rozprostřeno vápno. Vápno a zemina jsou promíseny zemní frézou. Zemina je urovnána grejdrem a zhuštěna.

Následuje doba zrání, při které probíhá hydratace vápna a zlepšení vlastností zeminy.

Při druhé fázi úpravy je dávkovačem nadávkován cement. Pomocí zemní frézy dojde k promísení materiálu. Následně je zemina urovnána grejdrem a zhuštěna válci.

Dvoufázová aplikace pojiva je technologicky náročnější. Dochází zde ke dvojímu dávkování a míchání. Před jejím použitím je nutné zhodnotit vhodnost jejího využití a výhody a nevýhody této aplikace, které byly uvedeny v kapitole 4.3.

6.2.2 Úprava v míchacím centru

Zeminu je možné upravit také v míchacím centru. Tento postup se volí v případě, že se musí z nějakého důvodu materiál z trasy vytěžit. Dále se tak upravuje již vytěžená zemina z jiných úseků pro dosažení lepší zpracovatelnosti a možnosti dalšího použití. [1]

7. ZAHRANIČNÍ ZKUŠENOSTI

7.1. Jednofázová úprava

Stejně jako v České republice, tak i v zahraničí, je jednofázová úprava zemin velmi využívanou technologií úpravy vlastností zemin. Existuje mnoho studií, které se zabývají vlivem pojiv na různé druhy zemin. Používají se klasická pojiva vápno a cement, dále různé druhy popílků, struska, směsná pojiva či jiná chemická činidla.

Účinky použití vápna nebo cementu na geotechnické vlastnosti jílovité zeminy s nízkou plasticitou

Tato zahraniční studie byla prezentována na mezinárodní konferenci stavebního inženýrství v Íránu v roce 2013. Cílem této studie bylo laboratorně vyzkoušet a vyhodnotit vliv použití vápna a cementu na zkoušenou jílovitou zeminu s nízkou plasticitou. Zajímavý byl přístup k počátečnímu zkoušení vzorků, kdy bylo, vzhledem k velikosti zkoumané oblasti, odebráno deset vzorků. U těchto vzorků byla vyhodnocena jejich zrnitost, plasticita, optimální vlhkost, maximální objemová hmotnost a zdánlivá hustota pevných částic. Poté byly výsledky zprůměrovány a zemina byla zatříděna dle průměrné hodnoty získané z deseti různých vzorků. Při tomto přístupu k zatřídění zeminy se může stát, že není odhaleno místo s jinými geotechnickými poměry.

Zemina byla v této studii smíšena s 3, 5, 7, a 9 % vápna nebo cementu. K vyhodnocení pevnostních vlastností upravené zeminy byla použita laboratorní zkouška pevnosti v tlaku na tělesech zhutněných při optimální vlhkosti a při vlhkosti nižší i vyšší, než je optimální vlhkost. Tělesa byla testována po 7, 14, 21, 28 a 60 dnech zrání. Z jednotlivých zkoušek pevnosti v tlaku byl dále vyhodnocen sekční modul pružnosti. Tento modul byl získán z křivky závislosti tlakové síly na přetvoření, kdy sekční modul pružnosti E_{50} odpovídal 50 % pevnosti v tlaku.

Z výsledků zkoušení upravené zeminy nebo laboratorně vyrobených těles vyplynuly tyto vlastnosti: vlhkost na mezi plasticity i vlhkost na mezi tekutosti se s přibývajícím množstvím pojiva spíše zvyšovala, zatímco index plasticity se převážně snižoval, při úpravě zemin vápnem byl tento průběh znatelnější, u zemin upravených cementem se jednalo o poměrně nepatrné a nepravidelné nárůsty či poklesy.

Optimální vlhkost se s přibývajícím množstvím pojiva zvyšovala, zatímco maximální objemová hmotnost se s přibývajícím množstvím pojiva snižovala.

Pevnost v tlaku zkoušených těles vyrobených ze směsi zeminy a cementu rostla se zvyšujícím se obsahem pojiva. Nejvyšší nárůst pevnosti těles byl během prvních sedmi dnů. Značný nárůst pevnosti mezi sedmým a čtrnáctým dnem zrání vykazovala pouze směs hutněná za nižší vlhkosti, než byla vlhkost optimální. Nejvyšší pevnost vykazovala tělesa zhutněná při nižší vlhkosti.

Pevnost v tlaku zkoušených těles vyrobených ze směsi zeminy a vápna rostla pouze do přidání 3 % vápna, při přidání 5, 7 a 9 % vápna už pevnost klesala. Nejvyšší nárůst pevnosti byl v prvních sedmi dnech. Nejvyšší pevnost vykazovala zemina hutněna za nižší vlhkosti.

Při srovnání zemin upravených cementem a zemin upravených vápnem jednoznačně dosahují vyšší pevnosti zeminy upravené cementem. Například při přidání 3 % cementu se pevnost po 28 dnech zrání těles pohybovala mezi 1–2 MPa. Zatímco při úpravě zemin vápnem to bylo pouze 0,5–1,2 MPa.

Ze studie také vyplynulo, že pevnost těles značně závisí na vlhkosti, jelikož tělesa hutněná při nižší vlhkosti vykazovala vždy vyšší pevnost. [29]

7.2. Dvofázová úprava

Závislost napětí a deformace dvofázové úpravy expanzivní zeminy vápnem a cementem

Práce z roku 2012 prezentována v časopise IJER se zabývala úpravou expanzivní zeminy dvofázovým systémem. Zemina byla nejdříve upravena pojivem a posléze, s časovým odstupem, cementem. Výzkum sledoval závislost napětí a deformace při dvofázové úpravě zeminy.

Zkoušenou zeminou byl písčité jíly, který byl v první fázi upravován 4, 6, 8 a 10 % vápna. Po čtyřech hodinách od úpravy zeminy vápnem bylo přidáno 2, 4 nebo 6 % cementu. Následně byla pomocí Proctorova zařízení vyrobena zhutněná tělesa.

Laboratorně vyrobená tělesa byla zkoušena po 7, 14, a 28 dnech zrání.

Nejvyšší pevnost v tlaku vykazovala tělesa s vysokým obsahem vápna. Pevnostní křivka strmě vzrostla a již při malé deformaci dosáhla výrazného maxima, poté zase prudce klesla. Toto chování poukazuje na vysokou tuhost, pevnost ale i křehkost vzorků. Tělesa vyrobená ze zeminy upravené pouze cementem naopak vykazovala nízké pevnosti při velkých deformacích, což také není optimální výsledek, který byl požadován.

Při dvofázové úpravě zeminy vápnem a cementem vzorky nevykazovaly tak ostrá maxima, jako při úpravě zemin vápnem. Pevnost vzorků se po dosažení maxima snižovala mírněji a při konečném selhání byla zbytková pevnost vyšší než při úpravě zeminy vápnem. Došlo tedy ke zmírnění křehkosti vzorků. Zkoušená tělesa byla tvárnější a ke konečnému selhání často vyžadovala větší deformaci. [30]

Závislost doby zrání na vlastnostech expanzivní zeminy, která je upravena vápnem a cementem

Tento výzkum z roku 2013 se zabýval vlivem doby zrání na vlastnosti upravené zeminy. Za dobu zrání výzkum označoval časovou prodlevu, která nastane od úpravy zeminy vápnem do doby, kdy je zemina upravena cementem. Zaměřil se na měření smršťování a pevnosti v tlaku takto upravených vzorků.

Zeminou použitou k výzkumu byl písčité jíly. Tato zemina byla upravena kombinací vápna a cementu. Doba zrání byla 1, 2, 3 a 4 hodiny. Zemina byla upravená 4, 6, 8 a 10 % vápna a 2, 4 a 6 % cementu a kombinací těchto pojiv.

Smršťování, respektive bobtnání, se v případě dvoufázové úpravy 4 % vápna a 2 % cementu snižovalo se zvětšující se dobou zrání. Nejmenší bobtnání tedy nastalo, pokud byla doba zrání 4 hodiny. Toto bobtnání bylo téměř nulové.

Dvoufázově upravené vzorky vykazovaly vyšší pevnosti než vzorky upravené pouze vápnem nebo pouze cementem. Samotná úprava cementem je v této zemině nevhodná z důvodu plasticity a špatné zpracovatelnosti.

Výzkum uvádí, že dvoufázová stabilizace přinesla přiměřené výsledky za přiměřenou cenu. [15]

ČÁST 2. – PRAKTICKÁ ČÁST

8. CHARAKTERISTIKA PRAKTICKÉ ČÁSTI

V praktické části diplomové práce jsem se zabývala jednofázovou a dvoufázovou úpravou jemnozrnných zemin pomocí hydraulických pojiv. Na zeminách jsem provedla klasifikační zkoušky, na základě kterých jsem zeminy zatřídila do odpovídajících skupin. Dále jsem dle zkušeností z praxe zvolila vhodný obsah pojiv a pracovní postup při výrobě jednofázově a dvoufázově upravených zemin, respektive směsí zemin, pojiva a vody. Pomocí vybraných laboratorních zkoušek jsem hodnotila a porovnávala chování takto upravených zemin.

Za účelem vyhodnocení vlastností zemin po jednofázové a dvoufázové úpravě jsem použila tři druhy jednozrnných zemin a dva druhy hydraulického pojiva.

8.1. Zemina

Pro účely diplomové práce byly použity jemnozrnné zeminy, které mají řadu problematických vlastností, které mohou způsobit poruchy a deformace v podloží vozovky. Mezi problematické vlastnosti patří jejich citlivost na vlhkost, sklony k objemovým změnám, vyšší plasticita v případě většího obsahu jílovitých částic, malá únosnost aj.

8.1.1. Odběr zeminy

Vybrané zeminy jsem pracovním názvem označila zemina č. 1, zemina č. 2 a zemina č. 3. Před odběrem vzorků jsem si určila základní pravidla, na základě kterých jsem odebrala potřebný druh a množství zeminy.

Bylo nutné odebrat jemnozrnnou zeminu, respektive zhodnotit, zda zemina obsahuje velké procento jemných částic. A dále bylo důležité, aby byly zeminy svými klasifikačními vlastnostmi odlišné. K odběru jsem si tedy vybrala jemnozrnnou zeminu světle hnědé barvy, u které jsem předpokládala, že se bude jednat o jíl, tuto zeminu jsem označila jako zemina č. 1. Další vybraná zemina – zemina č. 2, byla více sypká, tmavě hnědé barvy. Předpokládala jsem, že bude klasifikována jako hlína. Poslední zeminu – zeminu č. 3 - mi dodal můj vedoucí práce a jednalo se o zeminu šedé barvy, na první pohled velmi plastickou.

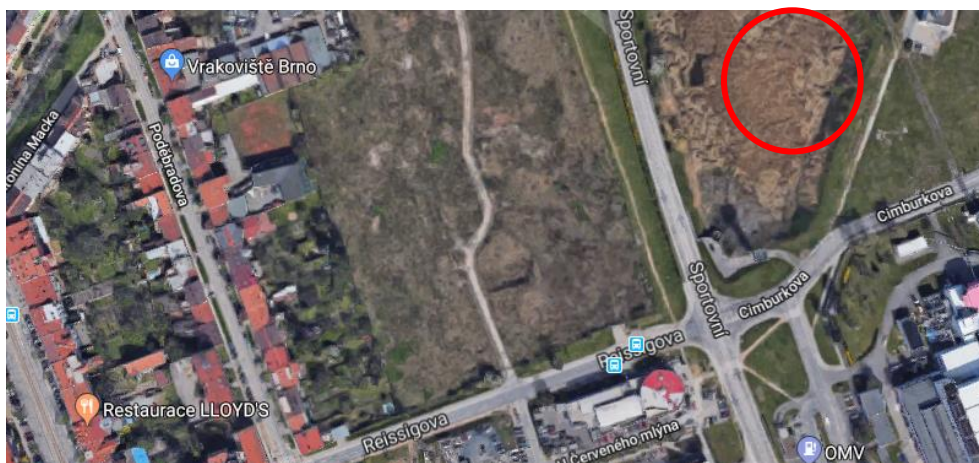
Výpočtem potřebného množství zemin pro jednotlivé laboratorní zkoušky jsem stanovila, že minimální hmotnost každé odebrané zeminy musí být minimálně 70 kg.



Obr.17: Odběr zemin č. 1 a č. 2



Obr. 18: Místo odběru zeminy – deponie Ostravačice



Obr.19: Místo odběru zeminy č. 3 – Brno, Královo pole, retenční nádrž Červený mlýn

8.1.2. Zpracování a uchování zemin

Zpracování jednotlivých druhů zemin se lišilo. Zeminu č. 1 a zeminu č. 2 jsem na podlahu v hale vysypala z pytlů, velké hroudy rozbila mechanicky kladívkem či ostrou hranou lopatky a zeminu promícháváním a přehazováním lopatou homogenizovala. Ze zeminy jsem odebrala vzorky na stanovení vlhkosti a nasykala ji zpět do pytlů, které jsem pečlivě uzavřela, aby se vlhkost dovezené zeminy neměnila. Pro výrobu zkušebních těles na jednotlivé laboratorní zkoušky je totiž zásadní znát aktuální vlhkost zeminy a dopočítat potřebné množství vody, které je třeba do zeminy přidat pro dosažení požadované vlhkosti. Ačkoliv byla zemina uzavřena v pytlích, tudíž by se její vlhkost měnit neměla, vždy před výrobou zkušebních těles jsem stanovila její aktuální vlhkost.

Zemina č. 3 byla velmi plastická. Aby bylo možné tuto zeminu použít k laboratorním účelům, bylo nutné zeminu nejdříve vhodným způsobem zpracovat. Zemina byla po odebrání spojena do velkých hrudek o velikosti přibližně 30 cm x 30 cm. Tuto zeminu jsem rozpojila rukou, případně lopatkou, na menší hroudy, které jsem dala do sušárny vysušit na 50 °C. Účelem bylo vysušit zeminu do takové míry, aby se hrudky daly snadno rozpojit kladívkem, ostrou hranou lopatky či rukou a zpětně nedocházelo k jejich spojení. Při tomto procesu bylo důležité, aby se zemina dostatečně vysušila, ale nepřesušila. V případě přesušení zeminy by došlo ke vzniku tvrdých nezpracovatelných hrud.

Zeminu č.3 jsem po zpracování dala do pytlů. Druhý den jsem pytle vysypala, zeminu homogenizovala a dále se zeminou pracovala stejně jako se zeminou č. 1 a č. 2.

Tab. 7: Druhy zeminy

| Označení zeminy | Místo odběru | Vizuální zařídění | Aktuální vlhkost |
|-----------------|---------------------|-------------------------|------------------|
| Zemina č. 1 | Deponie Ostravačice | Jíl | 11,30 % |
| Zemina č. 2 | Deponie Ostravačice | Hlína | 12,40 % |
| Zemina č. 3 | Brno, Královo pole | Vysoce plastická zemina | 17,00 % * |

* Vlhkost měřena po částečném vysušení zeminy při teplotě 50 °C



Obr. 20: Zemina č. 1



Obr.21: Zemina č. 2



Obr. 22: Zemina č. 3 po odběru



Obr. 23: Zemina č. 3 po sušení a zpracování

8.2. Pojivo

Cement

Byl použit Portlandský cement s vápencem CEM II/B-LL 32,5 R splňující normu ČSN EN 197-1 Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití.

Vápno

Jednalo se o mleté bílé vápno CL90 s vysokým obsahem CaO z vápenky Vitošov, která se nachází na Severní Moravě v okrese Šumperk.

8.3. Laboratorní postup

Nejdříve jsem provedla klasifikační zkoušky, jednalo se o zkoušku zrnitosti a stanovení konzistenčních mezí. Na základě těchto zkoušek jsem jednotlivé zeminy zatřídila dle ČSN 73 6133.

Z proctorových zkoušek provedených v souladu s ČSN EN 13286-2 jsem zjistila optimální vlhkost a maximální objemovou hmotnost zemin a upravených zemin. Pro upravené zeminy jsem stanovila kalifornský poměr únosnosti CBR, okamžitý index únosnosti IBI a lineární bobtnání dle ČSN EN 13286-47. Dále jsem vyrobila tělesa potřebná ke stanovení pevnosti v prostém tlaku a namrzavosti upravených zemin.

Na základě zkušeností získaných na Erasmu v Belgii jsem k popisu vlastností zemin a upravených zemin zvolila také zkoušku methylenovou modří.

Tab. 8: Laboratorní postup

| JEMNOZRNNÁ ZEMINA | | | | | |
|---|-----|-------------|---|-------------|-----|
| Zemina č. 1 | | Zemina č. 2 | | Zemina č. 3 | |
| Zkouška zrnitosti | | | Stanovení konzistenčních mezí | | |
| Klasifikace zemin | | | | | |
| Výroba směsí | | | | | |
| Z1C | Z2C | Z3C | Z1V | Z2V | Z3V |
| Jednofázová úprava | | | Dvoufázová úprava | | |
| 2 % cementu | | | 2 % vápna 15–18 hodin zrání 2 % cementu | | |
| Proctorova zkouška → optimální vlhkost, max. objemová hmotnost | | | | | |
| Zkouška IBI a CBR → vhodnost do aktivní zóny nebo násypu | | | | | |
| Výroba zkušebních těles + 28 dní zrání | | | | | |
| Zkouška pevnosti v tlaku | | | Zkouška namrzavosti | | |
| Zkouška methylenovou modří → vhodná/nevhodná zemina pro úpravu cementem | | | | | |

9. KLASIFIKAČNÍ ZKOUŠKY ZEMIN

9.1 Zkouška zrnitosti

Zkoušku zrnitosti zemin jsem prováděla dle normy ČSN CEN ISO/TS 17892-4 Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – část 4: Stanovení zrnitosti zemin metodou prosévání přes sadu kontrolních sít.

Zkouškou zrnitosti sledujeme zastoupení velikostí jednotlivých zrn v zemině. Dle zrnitosti posléze provádíme zatřídění zemin. [1]

Postup zkoušky

Ze zeminy jsem odebrala vzorek o hmotnosti přibližně 300 g. Tento vzorek jsem vysušila v sušárně při teplotě 110 °C a stanovila hmotnost M_1 . Poté jsem vzorek vsypala do kádinky, přidala přibližně 500 ml vody a půl hodiny promíchávala automatickým míchadlem. Promícháváním došlo k rozdužení zeminy.

Jelikož se jednalo o jemnozrnné zeminy, použila jsem sadu 9 sít o velikosti otvorů 0/16 mm a metodu, kdy je zemina přes síta promývána. Metoda promývání zeminy přes zkušební síta zajistí odplavení jemných částic, tedy částic menších než 0,063 mm.



Obr. 24: Sada zkušebních sít

Tab. 9: Rozměry otvorů sady zkušebních sít

| číslo síta | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|---------------|
| velikost otvorů [mm] | 16,0 | 8,0 | 4,0 | 2,0 | 1,0 | 0,5 | 0,25 | 0,125 | 0,063 | Dno s otvorem |

Takto připravenou suspenzi jsem vlila do sady zkušebních sít a začala promývat proudem vody. Suspenze jemnozrnné zeminy a vody obsahovala velké množství jemných částic, které se hromadily na zkušebních sítích o velikosti 0,063 mm a 0,125 mm a způsobovaly ucpání těchto sít. Bylo nutné rozdělat sadu sít a začít síta promývat jednotlivě. Nejdříve jsem promývala síto s nejmenšími otvory a postupně přidávala síta s většími



Obr. 25: Síto s otvory 0,063 mm

otvory. Pro důkladné promytí suspenze zachycené na jednotlivých sítích jsem používala proud vody a gumové míchadlo. Proces promývání jsem ukončila ve chvíli, kdy přes celou soustavu sít protékala voda plynule a výtokovým otvorem odtékala čirá.

Celou soustavu sít jsem vložila do sušárny a zeminu vysušila při teplotě 110 °C. Po vysušení jsem ručně dokončila prosévací proces a zvážila zůstatky na jednotlivých sítích. Pomocí sady rovnic a známé hmotnosti M_1 jsem přepočítala hmotnosti zůstatků na sítích na souhrnné procento propadu. Výsledky zkoušky jsem zaznamenala do grafu zrnitosti. [31]

Protokoly použité při provádění a vyhodnocení této laboratorní zkoušky jsou v příloze 1.

Rovnice pro výpočet frakce propadlé daným sítím (souhrnné procento propadu): [31]

$$f = 100 - \left[\frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{M_i} \times 100 \right]$$

f hmotnostní podíl frakce zeminy propadlé daným sítím [%]

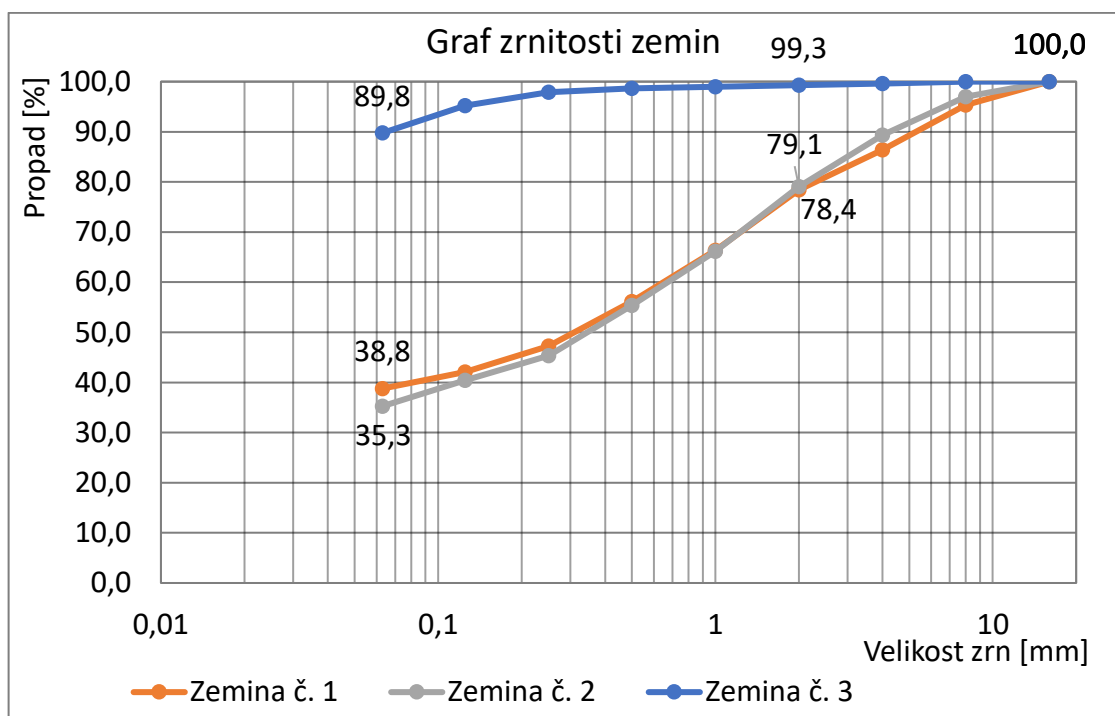
$R_1, R_2 \dots R_n$ hmotnosti zemin zachycených na jednotlivých sítích [g]

M_i celková počáteční hmotnost vysušeného zkušební vzorku [g]

Výsledky

Průběhy křivek zrnitostí všech tří zemin byly zaznamenány do souhrnného grafu. Je patrné, že zemina č. 1 a zemina č. 2 byly zrnitostně podobné, zatímco zemina č. 3 měla zcela odlišnou zrnitost.

Do tabulky jsem zaznamenala procentuální obsah jílovitých, písčitých a štěrkovitých částic zeminy. Tyto údaje jsem dále využila k zařídění zemin.



Graf 1: Křivky zrnitosti zemin

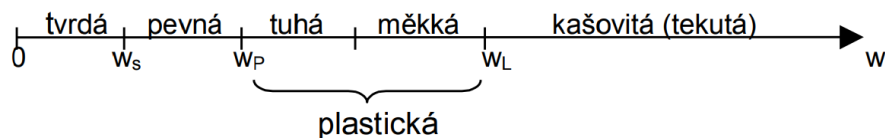
Tab. 10: Zrnitost zemin

| | Velikost částic [mm] | Množství částic [%] | | |
|---------------------------|----------------------|---------------------|-------------|-------------|
| | | Zemina č. 1 | Zemina č. 2 | Zemina č. 3 |
| Obsah jemných částic | 0-0,06 | 38,80 % | 35,30 % | 89,80 % |
| Obsah písčitých částic | 0,06-2,0 | 39,60 % | 43,77 % | 9,50 % |
| Obsah štěrkovitých částic | 2,0-6,0 | 21,60 % | 20,93 % | 0,72 % |

9.2. Stanovení konzistenčních mezí

Stanovení konzistenčních mezí jsem provedla dle normy ČSN CEN ISO/TS 17892-12 Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 12: Stanovení konzistenčních mezí.

Konzistence zeminy je závislá na typu a vlhkosti a vyjadřuje její odolnost proti deformaci. Konzistence zemin může být tvrdá, pevná, tuhá, měkká nebo kašovitá. Zemina je plastická, pokud se nachází v intervalu tuhé až měkké konzistence. Na rozmezí intervalu konzistence tvrdé a pevné se nachází mez smrštitelnosti w_s . Mez plasticity w_p se nachází na hranici pevné a tuhé konzistence. Mez tekutosti w_L leží na rozhraní konzistence měkké a kašovitá. Laboratorním stanovením meze plasticity a tekutosti lze určit, zda se jedná o zeminu s plasticitou nízkou, střední, vysokou, velmi vysokou nebo extrémně vysokou. [1] [32]



Obr 26: Konzistenční meze [32]

9.2.1. Mez tekutosti

Mez tekutosti je vlhkost, při které zemina přechází z plastického stavu do tekutého.

Postup zkoušky

Ke stanovení meze tekutosti jsem použila zkoušku kuželovou metodou. Tato metoda spočívá v pronikání ocelového kužele do zeminy pohybující se na hranici plastické a tekuté konzistence. Z přímé závislosti hloubky penetrace kužele a vlhkosti daného vzorku jsem stanovila mez tekutosti.

Nejdříve jsem si připravila zkušební vzorek. Potřebovala jsem přibližně 400 g zeminy prosáté přes síto 0,5 mm. Tento vzorek jsem smísila s vodou a pečlivě míchala, případně přidávala další vodu, dokud nevznikla důkladně promíchaná pasta. Pastou jsem naplnila zkušební misku, pečlivě zarovнала povrch a vložila vzorek pod penetrační kužel.

Používala jsem penetrační kužel o hmotnosti 80 g a velikosti vrcholového úhlu 30°, ozn. 80 g/30°. Požadovaný penetrační rozsah byl 15-20 mm.

Před penetrací kužele jsem nastavila rameno penetračního přístroje tak, aby se špička kužele dotýkala povrchu uhlazeného vzorku a ciferník měřící penetraci kužele nastavila na nulu. Poté jsem stiskla uvolňovací zařízení a po 5 sekundách odečetla hloubku penetrace kužele. Po vrácení kužele do původní polohy jsem očistila přilepenou pastu. Část zkušební vzorku jsem odebrala a použila na určení vlhkosti. Zbýlý vzorek jsem vrátila do míchací nádoby a namíchala z něj nový vzorek o jiné tekutosti.

Tímto způsobem jsem změřila hloubku penetrace a vlhkost u šesti různých vzorků. Závislost vlhkosti na hloubce penetrace u jednotlivých vzorků jsem vynesla do grafu, vzniklé body proložila křivkou a odečetla vlhkost odpovídající penetraci 20 mm. Tato vlhkost je označena jako mez tekutosti w_L . [33]

Protokoly použité při provádění a vyhodnocení této laboratorní zkoušky jsou v příloze 2.



Obr. 27: Penetrační přístroj



Obr. 28: Penetrace kužele



Obr. 29: Penetrace kužele

Rovnice pro výpočet vlhkosti zkoušeného vzorku:

$$w = \frac{m_w - m_d}{m_s} \times 100$$

m_w hmotnost zkušební navážky [g]

m_d ustálená hmotnost vysušené zkušební navážky [g]

w – vlhkost vzorku [%]

9.2.2. Mez plasticity

Mez plasticity je vlhkost na hranici polotuhé a plastické konzistence zeminy.

Postup zkoušky

Ke stanovení meze plasticity jsem použila zkoušku, při které se vlhkost zeminy snižuje hnětením a válením, dokud nevzniknou válečky o průměru 3 mm, které mají příčné i podélné trhlinky. Z vlhkosti takto vyrobených válečků se odečte vlhkost w_p , tedy mez plasticity.

Připravila jsem si zkušební vzorek o hmotnosti přibližně 30 g prosátý přes síto 0,5 mm. Vzorek jsem přivlhčila tak, aby vznikla plastická hmota. Z této hmoty jsem vytvořila kuličku a dlaní hnětla tak dlouho, dokud se na ní nevytvořily jemné prasklinky. Poté jsem kuličku rozdělila na čtyři díly a jednotlivé díly válela mezi prsty do válečků o průměru 6 mm. Tyto válečky jsem položila na skleněnou podložku a bříšky prstů válela do průměru 3 mm. Průměr válečků jsem kontrolovala pomocí drátu o průměru 3 mm. Požadovaného výsledku jsem dosáhla v momentě, kdy se na válečkách o průměru 3 mm začaly tvořit příčné a podélné prasklinky. Části rozpraskaných válečků každého ze čtyř dílů jsem vložila do samostatné váženky a určila jejich vlhkost. Průměrná vlhkost ze čtyřech měřených dílů je označena jako w_p , tedy mez plasticity. [33]

Protokoly použité při provádění a vyhodnocení této laboratorní zkoušky jsou v příloze 2.



Obr. 30: Popraskaná kulička zeminy



Obr. 31: Válečky o průměru 3 mm

Výsledky

Po provedení laboratorních zkoušek jsem zjistila vlhkost na mezi tekutosti a vlhkost na mezi plasticity jednotlivých zemín. Dále jsem vypočítala index plasticity, což je rozdíl vlhkostí na mezi tekutosti a mezi plasticity vyjadřující rozsah vlhkosti, při které se zemina chová plasticky. Výsledky jsem zaznamenala do souhrnné tabulky a použila pro určení plasticity při klasifikaci zemín. [33]

Tab. 11: Konzistenční meze

| Zemina | Zemina č. 1 | Zemina č. 2 | Zemina č. 3 |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Mez tekutosti w_L [%] | 33,5 | 36,2 | 80,5 |
| Mez plasticity w_p [%] | 20,4 | 25,8 | 23,1 |
| Index plasticity $w_L - w_p$ [%] | 13,1 | 10,4 | 57,4 |

9.3. Zatřídění zemin

Zatřídění zemin jsem provedla dle ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Použila jsem trojúhelníkový a Casagrandeho diagram.

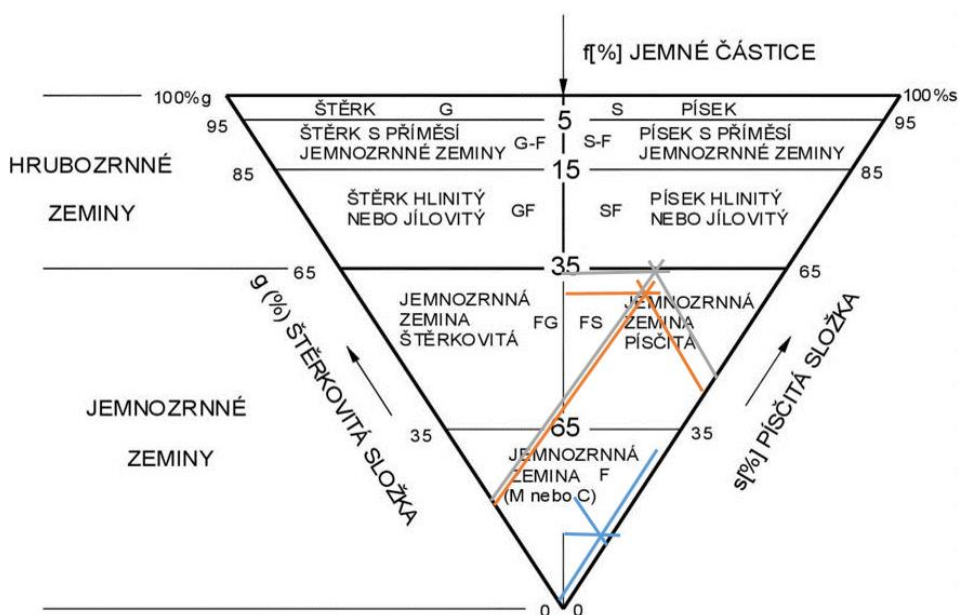
Trojúhelníkový diagram

Trojúhelníkový diagram umožňuje zatřídít zeminu na základě její zrnitosti. Do trojúhelníkového diagramu jsem vynesla hodnoty procentuálního rozdělení jílovité, písčité a štěrkovité složky zeminy. Z bodu, kde se tyto hodnoty protnulý jsem stanovila, zda se jedná o jemnozrnné zeminy F1-F2, F3-F4 nebo F5-F8.

Tab. 12: Zrnitost zemin

| | Velikost částic [mm] | Množství částic [%] | | |
|---------------------------|----------------------|---------------------|-------------|-------------|
| | | Zemina č. 1 | Zemina č. 2 | Zemina č. 3 |
| Obsah jemných částic | 0-0,06 | 38,80 % | 35,30 % | 89,80 % |
| Obsah písčitých částic | 0,06-2,0 | 39,60 % | 43,77 % | 9,50 % |
| Obsah štěrkovitých částic | 2,0-6,0 | 21,60 % | 20,93 % | 0,72 % |

Trojúhelníkový diagram



Obr. 32: Trojúhelníkový diagram [21]

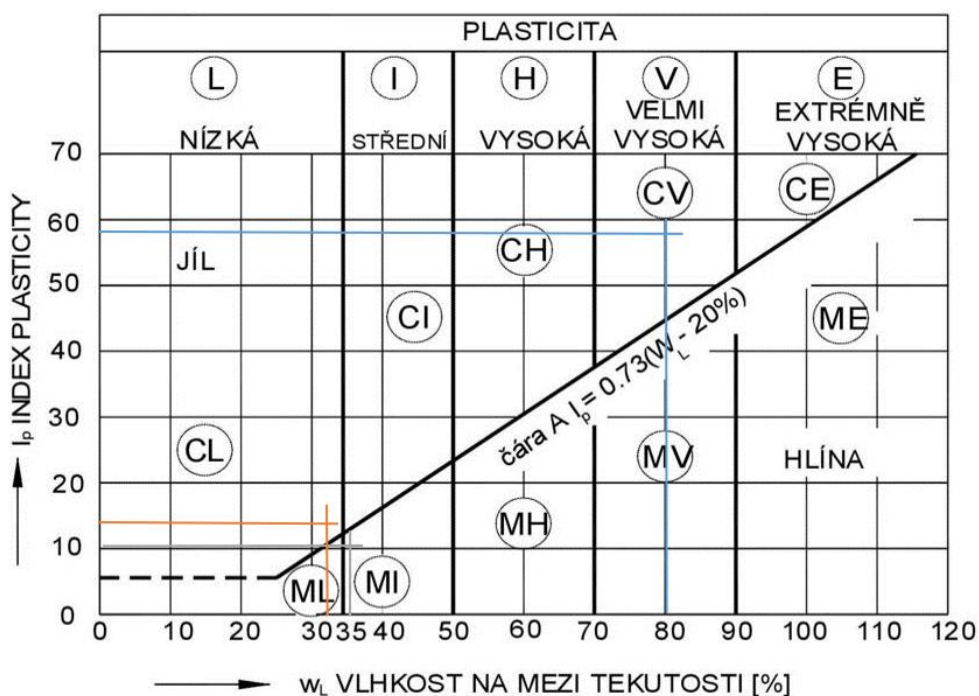
Casagrandeho diagram

Z Casagrandeho diagramu lze zjistit, zda se jedná o jíl nebo hlínu a také míru plasticity zeminy. Do Casagrandeho diagramu jsem vynesla hodnotu vlhkosti na mezi tekutosti a index plasticity. Průsečík těchto dvou hodnot se nacházel pod nebo nad čarou „A“ v diagramu a určil, zda se jedná o jíl nebo hlínu. Zároveň u zeminy č. 3 určil míru plasticity.

Tab. 13: Konzistenční meze

| Zemina | Zemina č. 1 | Zemina č. 2 | Zemina č. 3 |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Mez tekutosti w_L [%] | 33,5 | 36,2 | 80,5 |
| Mez plasticity w_P [%] | 20,4 | 25,8 | 23,1 |
| Index plasticity $w_L - w_P$ [%] | 13,1 | 10,4 | 57,4 |

Digram plasticity pro jemnozrnné zeminy



Obr. 33: Casagrandeho diagram [4]

Výsledky

Jednotlivé zeminy jsem zařídila a dle normy ČSN 736133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací – tabulka A.1 jsem zaznamenala jejich vhodnost pro použití do násypu nebo aktivní zóny.

Tab. 14: Klasifikace zemin a jejich vhodnost pro pozemní komunikace

| Ozn. | Název zeminy | Třída a symbol | Obsah jemných částic [%] | Mez tekutosti [%] | Postavení v Casagr. diagramu | Vhodnost do násypu | Vhodnost do aktivní zóny |
|------|---------------------------------|----------------|--------------------------|-------------------|------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Z1 | Písčité jíly | F4 CS | >35 | | nad čarou A | Podmínečně vhodná | |
| Z2 | Písčité hlíny | F3 MS | >35 | | pod čarou A | Podmínečně vhodná | |
| Z3 | Jíl s velmi vysokou plasticitou | F8 CV | >65 | >50 | nad čarou A | Nevhodná | |

10. LABORATORNÍ ZKOUŠKY PRO ZKOUŠENÍ SMĚSÍ

10.1. Zkoušené směsi

Z každé zeminy jsem namíchala dvě směsi. Jedna směs vznikla jednofázovou úpravou dané zeminy cementem. Druhou směs jsem vyrobila pomocí dvoufázové úpravy zemin vápnem i cementem. Celkově jsem tedy vyrobila šest různých směsí.

Tab. 15: Druhy zkoušených směsí

| Označení směsi | Označení zeminy | Zatřídění zeminy | Druh úpravy | Druh pojiva | Množství pojiva [%] |
|----------------|-----------------|--|-------------|-------------|---------------------|
| Z1C | Zemina č. 1 | F4 CS Písčité jíly | Jednofázová | Cement | 2 |
| Z1V | | | Dvoufázová | Cement | 2 |
| | | | | Vápno | 2 |
| Z2C | Zemina č. 2 | F3 MS Písčitá hlína | Jednofázová | Cement | 2 |
| Z2V | | | Dvoufázová | Cement | 2 |
| | | | | Vápno | 2 |
| Z3C | Zemina č. 3 | F8 CV Jíl s velmi vysokou plasticitou | Jednofázová | Cement | 2 |
| Z3V | | | Dvoufázová | Cement | 2 |
| | | | | Vápno | 2 |

10.2. Postup výroby směsí

Jednofázová úprava

Při jednofázové úpravě zemin pojivem byla vyrobena směs zeminy, cementu a vody. Před použitím byla zemina uchovávána v utěsněných pytlích, kde udržovala stálou vlhkost. Tuto vlhkost jsem měla stanovenou a před namícháním směsi ji kontrolovala.

Potřebné množství zeminy k výrobě směsi jsem odvážíla a zeminu rozmělnila ostrou hranou lopatky tak, aby v ní nebyly velké hrudky. Do zeminy jsem zamíchala pojivo, tedy cement. Dávkování cementu bylo 2 % z hmotnosti suché zeminy. Směs jsem pečlivě promíchala a přidala vodu. Vody jsem přidávala takové množství, aby byla výsledná vlhkost směsi optimální. Hmotnost přidaného množství vody závisela na hmotnosti suché zeminy. Směs jsem promíchávala dostatečně dlouho tak, aby pojivo i voda byly ve směsi rovnoměrně rozprostřeny.

Jelikož jsem míchala zeminu ručně, bylo důležité zvolit, jaké maximální množství zeminy jsem schopná důkladně promíchat. Většinou jsem vyráběla směsi o hmotnosti do 7 kg, maximálně pak 10 kg.

Po promíchání jsem nechala zeminu přibližně 15 minut odstát, aby se vlhkost ve směsi rozprostřela rovnoměrně. Poté jsem směs použila k výrobě těles potřebných k laboratorním zkouškám.

Dvoufázová úprava

Tato úprava zemin měla dvě základní fáze. V první fázi jsem zeminu smíchala s vápnem a určitým množstvím vody. Poté nastala časová prodleva, kterou nazývám dobou zrání. Ve druhé fázi jsem zeminu smíchala s cementem a takovým množstvím vody, aby výsledná vlhkost směsi byla optimální.

Při dvoufázové úpravě bylo stěžejní určit vhodný a logický postup, který respektuje časovou prodlevu mezi první a druhou fází úpravy, kdy dochází k poklesu vlhkosti. Tento pokles je způsobený exotermickou reakcí zeminy, vápna a vody.

Pokles vlhkosti směsi v první fázi úpravy zeminy jsem zjistila na základě stanovení hmotnosti směsi známé receptury v daném časovém úseku. Zjistila jsem, že po přidání vápna a časové prodlevě 15 hodin vlhkost zeminy klesne přibližně o 1 %.

První fáze

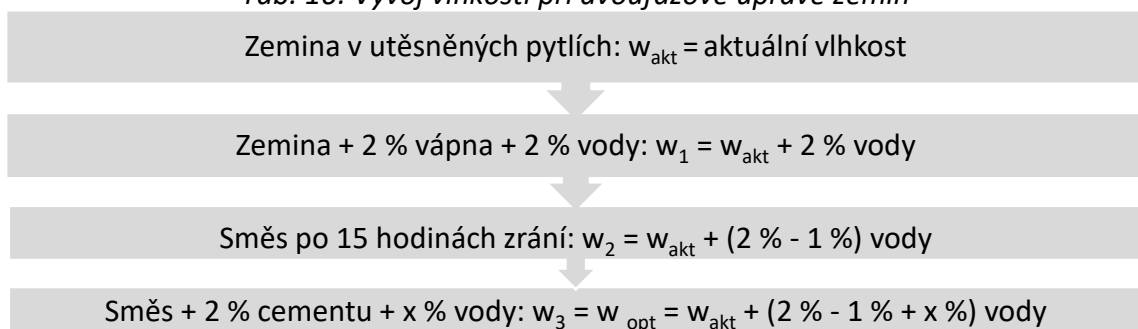
Stejně jako při jednofázové úpravě jsem zeminu odebrala z utěsněných pytlů a rozmělnila lopatkou. Poté jsem zeminu smíchala s 2 % vápna a 2 % vody a ponechala 15 hodin zrát za účelem úpravy okamžitých vlastností zeminy vlivem působení vápna. Po 15 hodinách měla upravená směs přibližně o 1 % nižší vlhkost a byla připravena na druhou fázi úpravy.

Druhá fáze

Směs zeminy, vápna a vody byla pečlivě promíchána s 2 % cementu a takovým množstvím vody, aby výsledná vlhkost směsi byla optimální.

Procentuální množství všech, do zeminy přidávaných složek – vápna, cementu i vody, byla počítána z hmotnosti suché zeminy.

Tab. 16: Vývoj vlhkosti při dvoufázové úpravě zemin



10.3. Proctorova zkouška

Proctorovu zkoušku jsem prováděla dle 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. Cílem této laboratorní zkoušky je určit maximální objemovou hmotnost a optimální vlhkost zhutněného zkušebního tělesa. [34] [25]

Podstatou zkoušky je výroba pěti zhutněných těles o různé vlhkosti. Ze stanovené vlhkosti se vypočítá objemová hmotnost suché směsi a její závislost na vlhkosti se vynese do grafu. Vykreslená křivka zobrazuje maximální objemovou hmotnost suché směsi a optimální vlhkost. [34]

Postup zkoušky

Proctorovu zkoušku jsem prováděla na všech šesti směsích a dále také na zemině č. 1 a zemině č. 2 bez přidání pojiva, abych mohla zhodnotit vývoj poklesu či nárůstu objemové hmotnosti a vlhkosti v závislosti na použití pojiv. Z důvodu nedostatku materiálu jsem u zeminy č. 3 zkoušku zhutnitelnosti zeminy bez přidání pojiv nedělala.

Ke zhutnění směsí jsem použila Proctor standard a formu typu A, která se používá pro směsi s maximální velikostí zrna 16 mm. V závislosti na této kombinaci byly dle normy určeny další specifikace zkoušky.

Tab. 17: Specifikace Proctorovy zkoušky dle normy ČSN EN 13286-2

| Proctor standard | forma typu A |
|---------------------------|---------------------|
| Vnitřní průměr formy [mm] | 100 |
| Výška formy [mm] | 120 |
| Hmotnost pěchu [kg] | 2,5 |
| Průměr pěchu [mm] | 50 |
| Výška dopadu [mm] | 305 |
| Počet vrstev | 3 |
| Počet úderů na vrstvu | 25 |

Z každého druhu směsi, případně zeminy bez pojiv, jsem připravila 5 různě vlhkých vzorků. Každý vzorek obsahoval 2 400 g vlhké zeminy, jednofázově či dvoufázově přidané pojivo a vodu. Množství přidaného pojiva a vody jsem vypočítala v závislosti na hmotnosti suché zeminy. Každý z pěti vzorků jsem přivlhčila jiným množstvím vody. Směs důkladně promíchala a nechala minimálně 15 minut odstát, aby došlo k rovnoměrnému zvlhčení celého vzorku.

Poté jsem vzorek zhutnila pomocí Proctorova přístroje. Vzniklé těleso jsem zvážila a ze střední části tělesa odebrala malý vzorek směsi, který sloužil ke stanovení vlhkosti směsi.

Z hmotnosti a objemu tělesa jsem vypočítala objemovou hmotnost vlhké směsi, kterou jsem pomocí vlhkosti přepočítala na objemovou hmotnost suché směsi. Následně jsem sestrojila bodový graf závislosti vlhkosti a objemové hmotnosti suché směsi a jednotlivé body proložila polynomickou křivkou druhého stupně. Z vrcholu křivky jsem zjistila maximální objemovou hmotnost suché směsi a optimální vlhkost. [34] [25]



Obr. 34: Z1 – vlhkost nižší než optimální



Obr. 35: Z1 – optimální vlhkost



Obr. 36: Z1 – vlhkost vyšší než optimální

Rovnice pro výpočet objemové hmotnosti zhutněné vlhké směsi ρ_w : [34]

$$\rho_w = (m_2 - m_1) \times 1000 / V$$

ρ – objemová hmotnost zhutněné vlhké směsi [kg/m³]

m_1 – hmotnost formy a základní desky [g]

m_2 – hmotnost formy, základní desky a zhutněné směsi [g]

V – objem formy [cm³]

Rovnice pro výpočet objemové hmotnosti zhutněné suché směsi ρ_s : [34]

$$\rho_s = (100 \times \rho_w) / (100 \times w)$$

ρ_s – objemová hmotnost zhutněné suché směsi [kg/m³]

ρ_w – objemová hmotnost zhutněné vlhké směsi [kg/m³]

w – vlhkost směsi [%]

Rovnice pro výpočet vlhkosti směsi: [34]

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

m_1 – hmotnost zkušební navážky [g]

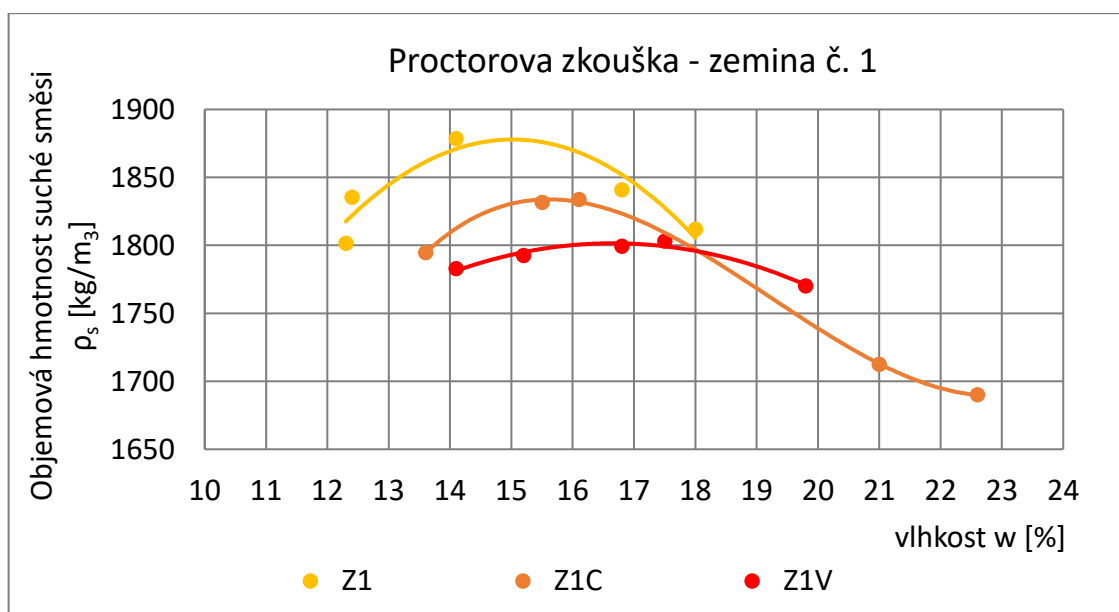
m_2 – ustálená hmotnost vysušené zkušební navážky [g]

w – vlhkost směsi [%]

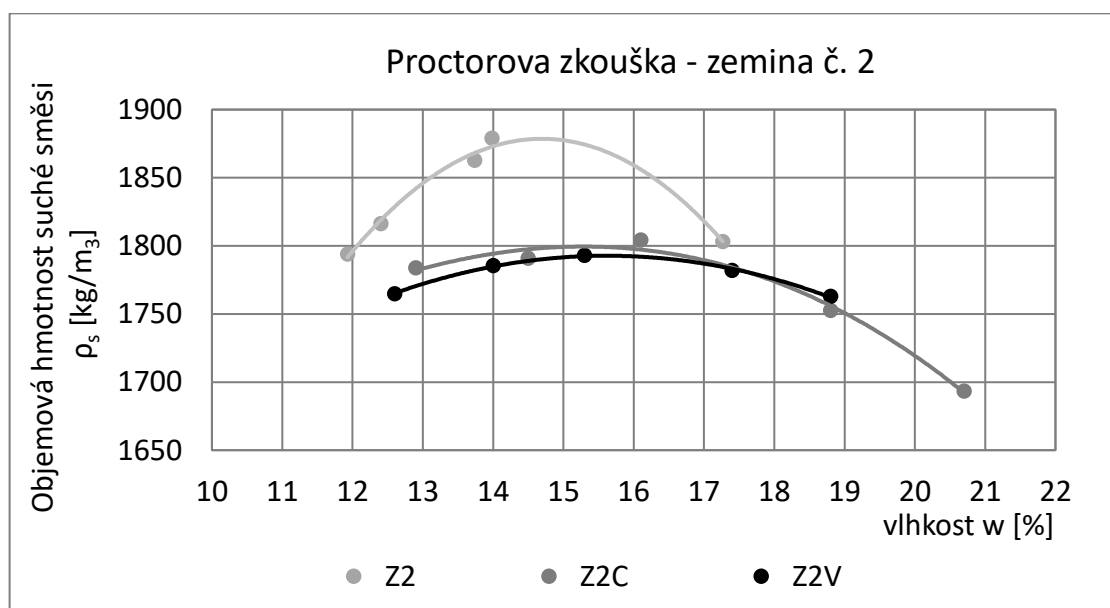
Výsledky

Výsledky zkoušek zhutnitelnosti jsem zaznamenala do souhrnných grafů. Jeden graf slučuje křivky vyhodnocující vlastnosti jedné zeminy, která je zkoušena ve třech různých směsích – zemina neupravená pojivy, zemina upravená cementem, zemina upravená vápnem a cementem. V grafech lze sledovat, jak s přibývajícím obsahem pojiv narůstá optimální vlhkost, klesá maximální objemová hmotnost a s přidáním vápnem do směsi se křivka zploštuje.

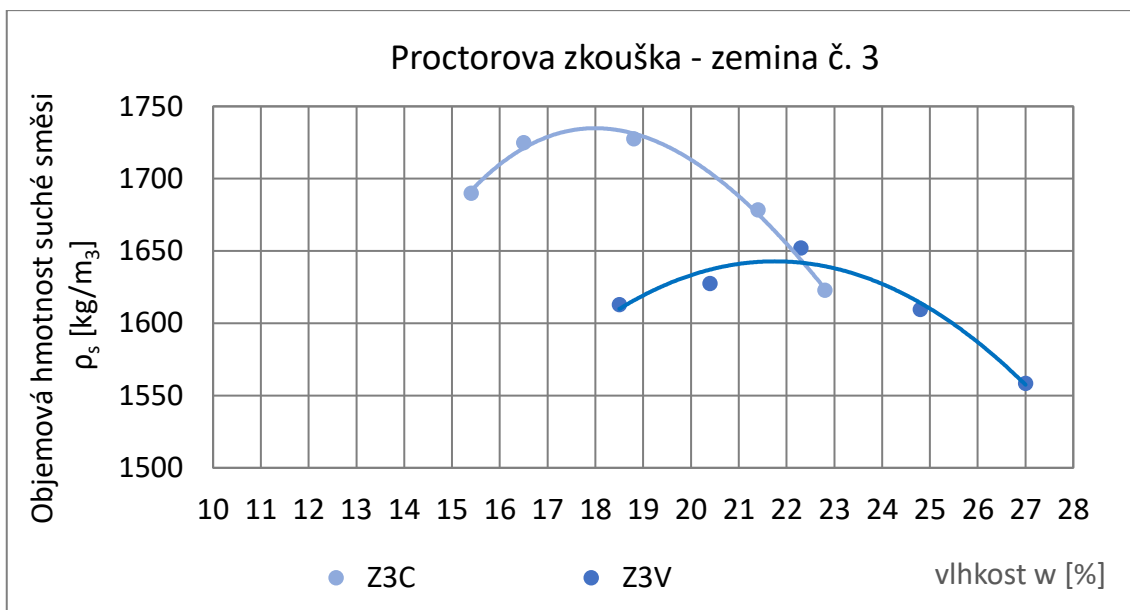
Podrobné protokoly použité při provádění a vyhodnocení této laboratorní zkoušky jsou v příloze 3.



Graf 2: Proctorova zkouška – směsi se zeminou č. 1



Graf 3: Proctorova zkouška – směsi se zeminou č. 2



Graf 4: Proctorova zkouška – směsi se zeminou č. 3

Tab 18: Proctorova zkouška – souhrnné výsledky

| Označení směsi | Zatřídění zeminy | Druh úpravy | Druh pojiva | Množství pojiva [%] | Optimální vlhkost [%] | Max. obj. hmotnost [kg/m³] |
|----------------|---------------------------------|-------------|-----------------|---------------------|-----------------------|----------------------------|
| Z1 | Písčité jíl | Žádná | x | x | 15 | 1880 |
| Z1C | | Jednofázová | Cement | 2 | 16 | 1820 |
| Z1V | | Dvoufázová | Cement Vápno | 2 2 | 17 | 1800 |
| Z2 | Písčitá hlína | Žádná | x | x | 15 | 1880 |
| Z2C | | Jednofázová | Cement | 2 | 15 | 1800 |
| Z2V | | Dvoufázová | Cement Vápno | 2 2 | 16 | 1790 |
| Z3 | Jíl s velmi vysokou plasticitou | Žádná | x | x | X | X |
| Z3C | | Jednofázová | Cement | 2 | 18 | 1730 |
| Z3V | | Dvoufázová | Cement Vápno | 2 2 | 22 | 1640 |

10.4. Zkouška pro stanovení IBI a CBR

Tato laboratorní zkouška byla prováděna dle normy ČSN EN 13286-47 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání.

Podstatou zkoušky je měření hloubky pronikání válcového pístu do zhutněného zkušební tělesa. Vztah mezi silou potřebnou k zatlačení trnu a hloubkou penetrace je zaznamenán v grafu. Hodnota CBR a IBI se vyhodnocuje jako procentuální vyjádření síly ku standardní síle při zatlačení pístu na 2,5 mm a 5 mm, přičemž za výslednou hodnotu je považována vyšší z nich. [22]

Na výrobu jednoho zkušební tělesa jsem požívala 4,8 kg vlhké zeminy. Příslušné směsi jsem vyráběla dle postupu v kapitole

Postup zkoušení

Tělesa jsem vyráběla hutnicím pěchem. Parametry zkoušky byly specifikovány pomocí normy ČSN EN 13286-2. Používala jsem metodu Proctor modifikovaný, formu o průměru 150 mm a výšce 120 mm. Zkušební tělesa byla hutněna do pěti vrstev po 56 úderech. Byl použit pěch o hmotnosti 4,5 kg, ručně ovládaný. Další specifikace jsou uvedeny v tabulce 19.

Tab. 19: Specifikace výroby těles dle normy ČSN EN 13286-2

| Proctor modifikovaný | forma typu B |
|-----------------------------|---------------------|
| Vnitřní průměr formy [mm] | 150 |
| Výška formy [mm] | 120 |
| Hmotnost pěchu [kg] | 4,5 |
| Průměr pěchu [mm] | 50 |
| Výška dopadu [mm] | 457 |
| Počet vrstev | 5 |
| Počet úderů na vrstvu | 56 |

Forma byla zesponu opatřena základovou deskou a shora snímatelným nástavcem. Na dno formy byl umístěn filtrační papír. Po zhutnění tělesa ve formě jsem válcovou část formy oddělila od základové desky, opatrně jsem sejmula nástavec a zhutněnou směs špachtlí zarovnal s vrchním okrajem formy. Pokud při zarovnávání došlo k odstranění hrubších částic z povrchu tělesa, pak byly tyto hrubší částice nahrazeny jemnějšími a vtlačeny dovnitř. [22]

Okamžitý index únosnosti IBI

Takto vyrobené ztuhlé těleso jsem ponechala ve formě a podrobila zkoušce IBI – měření okamžitého indexu únosnosti. Při této zkoušce byl do středu zkušební tělesa zatlačován trn o průměru 50 mm rychlostí 1,27 mm/min. Zkoušku jsem prováděla do hloubky penetrace 8 mm. [22]



Obr. 37: IBI – penetrace trnu



Obr. 38: IBI – těleso po penetraci trnu

Kalifornský poměr únosnosti CBR

Po zkoušce IBI jsem zkušební těleso izolovala, aby nedocházelo ke ztrátě vlhkosti a nechala tři dny zrát. Poté jsem ho opatřila děrovanou podkladní deskou. Na vrchní povrch tělesa jsem umístila filtrační papír a horní děrovanou desku. Formu jsem opatřila nástavcem, který umožnil přichycení výhyčkoměru pro měření lineárního bobtnání zkušební tělesa. Takto připravené zkušební těleso jsem ponořila do nádoby s vodou a nechala 4 dny saturovat. Po čtyřech dnech jsem těleso z nádoby vyjmula a nechala 15 minut okapat.

Zkušební těleso jsem zatížila zatěžovacími prstenci, aby nedocházelo ke zvedání směsi. Penetrační trn o průměru 50 mm jsem umístila do středu zkušební tělesa a rychlostí 1,27 mm/min byl trn zatlačován do tělesa. Zatlačování trnu bylo prováděno do hloubky 8 mm. [22]



Obr. 39: CBR – zrání tělesa



Obr. 40: CBR – saturace tělesa



Obr. 41: CBR – penetrace trnu se zatěžovacími prstenci



Obr. 42: CBR – těleso po penetraci trnu

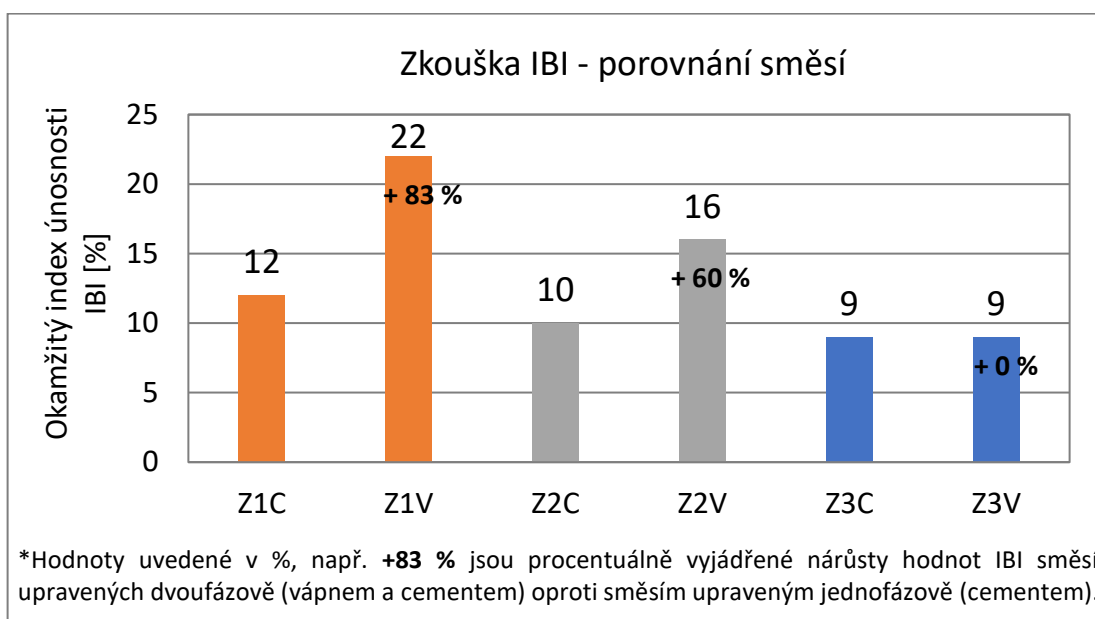
Výsledky

Výstupní hodnoty zkoušek IBI a CBR udávají sílu potřebnou k zatlačení trnu do určité hloubky. Tyto hodnoty velmi podrobně zaznamenával program v počítači. Po ukončení zkoušky jsem data zpracovala do grafu, kde jsem vynesla hodnoty penetrace v krocích po 0,5 mm a jim odpovídající sílu potřebnou k zatlačení trnu. Síly potřebné k zatlačení trnu do hloubky 2,5 mm a 5,0 mm jsem porovnávala se standardní silou. Podíl naměřené síly ku standardní síle jsem vyjádřila v procentech. Výsledkem je vyšší z hodnot. [22]

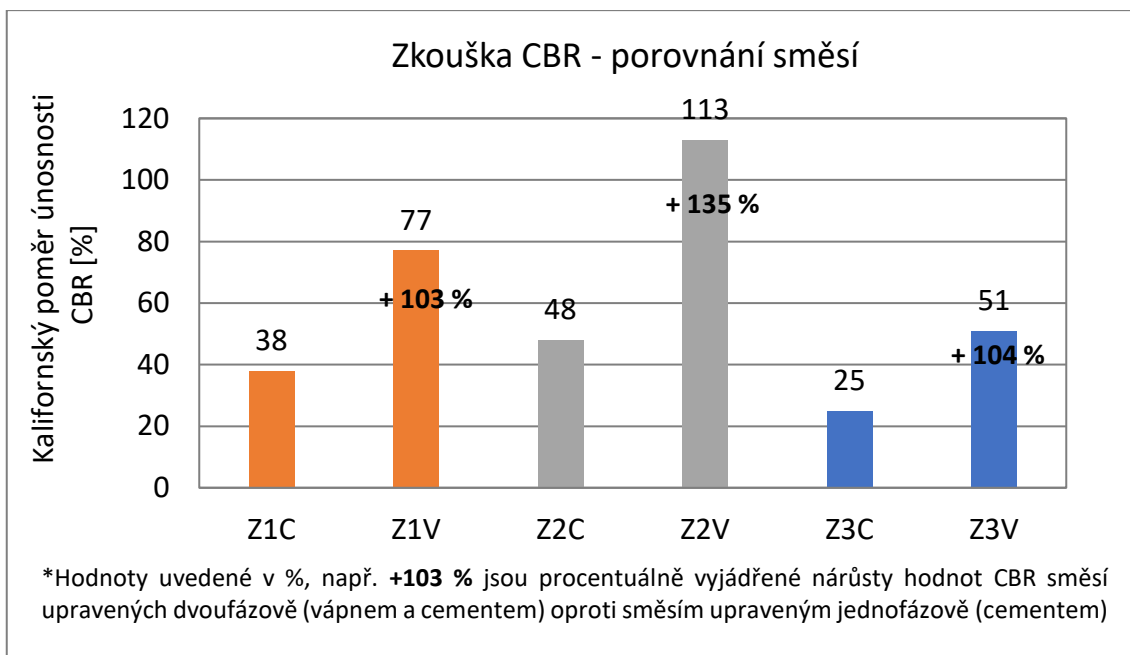
Protokoly použité při provádění a vyhodnocení této laboratorní zkoušky jsou v přílohách 5 a 6. Lineární bobtnání těles bylo velmi nepatrné a je zaznamenáno v příloze 7.

Tab. 20: Standardní síla/penetrace ČSN EN 13286-47

| Hloubka penetrace [mm] | Standardní síla [kN] |
|------------------------|----------------------|
| 2,5 | 13,2 |
| 5,0 | 20,0 |



Graf 5: Zkouška IBI – porovnání směsí



Graf 6: Zkouška CBR – porovnání směsí

Tab. 21: Zkouška CBR a IBI – výsledky

| | Zemina č. 1 | | Zemina č. 2 | | Zemina č. 3 | |
|--|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|
| | Z1C | Z1V | Z2C | Z2V | Z3C | Z3V |
| Okamžitý index únosnosti IBI [%] | 12 | 22 | 10 | 16 | 9 | 9 |
| Násyp/podloží násypu IBI > 10 % | vyhoví | | | | nevyhoví | |
| Kalifornský poměr únosnosti CBR [%] | 38 | 77 | 48 | 113 | 25 | 51 |
| Aktivní zóna | PII | PI | PII | PI | PIII | PI |

Vyhodnocení

Nárůst hodnoty IBI při srovnání jednofázové a dvoufázové úpravy zeminy č. 1 a č. 2 byl významný. U zeminy č. 1 vzrostla hodnota IBI o 83 %, u zeminy č. 2 o 60 %. Problematickou se při zkoušce IBI jevila zemina č. 3, která vykazovala stejnou hodnotu IBI po jednofázové i dvoufázové úpravě.

Podle hodnoty IBI byla vyhodnocena vhodnost použití zeminy do násypu/podloží násypu. Pokud je hodnota IBI minimálně 10 %, pak je zemina do násypu/podloží násypu vhodná. Tato minimální hodnota byla velmi těsně dodržena při jednofázové úpravě zeminy č. 1 a zeminy č. 2. Po dvoufázové úpravě těchto zemin byla hodnota 10 % dostatečně překročena. Výsledek zkoušky IBI u zeminy č. 3 byl neuspokojivý. Tato zemina měla hodnotu po jednofázové i dvoufázové úpravě pouze 9 %, což znamená, že je i po dvoufázové úpravě dle TP 94 nevhodná pro použití do násypu/podloží násypu. Nicméně je důležité poukázat na fakt, že zemina č. 3, tedy jíla s velmi vysokou plasticitou, je svými vlastnostmi specifickou jemnozrnnou zeminou, která právě kvůli vysoké

plasticitě nemusí reagovat na úpravu pojivy okamžitě, ale potřebuje k úpravě určitou dobu zrání. To dokazují výsledky zkoušky CBR, které i pro tuto zeminu vyšly příznivě.

Hodnoty CBR u jednotlivých zemin narostly výrazněji než hodnoty IBI. Všechny zeminy vykazují více než 100% nárůst hodnoty CBR po dvoufázové úpravě oproti jednofázové úpravě.

Podle hodnoty CBR jsem vyhodnotila vhodnost použití zeminy do aktivní zóny a určila typ podloží. Zemina č. 1 i zemina č. 2 odpovídala po jednofázové úpravě typu podloží PII a po dvoufázové úpravě typu podloží PI. Zemina č. 3 po jednofázové úpravě odpovídala podloží typu PIII a po dvoufázové úpravě typu podloží PI, což považuji za velmi příznivý výsledek.

V komplexním srovnání zkoušek IBI a CBR všech tří zemin zemina č. 1 vykazovala největší procentuální nárůst hodnoty IBI a naopak nejmenší, i když velmi vysoký, nárůst hodnoty CBR. Zemina č. 2 vykazovala velmi vysoký nárůst hodnoty CBR i poměrně vysoký nárůst hodnoty IBI. Nejhorší výsledky a nárůsty hodnot po dvoufázové úpravě jsem zaznamenala u zeminy č. 3. Tyto výsledky vyplývají již z charakteru zeminy, která je klasifikována jako jíla s velmi vysokou plasticitou a očekávala jsem, že její úprava bude složitá. Po dvoufázové úpravě vůbec nevzrostla hodnota IBI, ale naopak výsledek zkoušky CBR vyšel velmi pozitivně.

10.5. Pevnost v tlaku

Při stabilizaci zemin v podloží vozovky pozemní komunikace je důležité ověřit upravenou směs zeminy s pojivem zkouškou pevnosti v prostém tlaku. V případě, že výsledné hodnoty pevnosti v tlaku jsou větší než požadovaná třída pevnosti $C_{1,5/2}$, je možné směs zahrnout jako podkladní vrstvu do konstrukce vozovky.

10.5.1. Výroba zkušebních těles

Při výrobě zkušebních těles jsem postupovala dle normy ČSN EN 13286-50 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 50: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí Proctorova zařízení nebo vibračního stolu.

Zvolila jsem výrobu válcových zkušebních těles pomocí Proctorova zařízení. Od každé ze šesti směsí jsem potřebovala sedm zkušebních těles – tři na zkoušku pevnosti v tlaku a čtyři na zkoušku namrzavosti. [24] [25]

Směsi jsem hutnila při optimální vlhkosti.

Postup zkoušky

Hutnění zkušebních válců probíhalo za podmínek, které jsou známy z Proctorovy zkoušky. Zvolila jsem Proctor standard, formu typu A, hmotnost pěchu 2,5 kg, výška dopadu 305 mm, průměr pěchu 50 mm. Hutnila jsem opět tři vrstvy 25 úderů.

Po zhutnění jsem z formy sejmula nástavec a povrch tělesa zarovnála stěrkou. Následně jsem opatrně vyjmula těleso z formy, zvážila a popsala příslušným označením. Z hmotnosti těles jsem vypočítala objemovou hmotnost suché směsi, která by měla přibližně odpovídat maximální objemové hmotnosti suché směsi stanovené Proctorovou zkouškou. Odchylka objemové hmotnosti tělesa a maximální objemové hmotnosti stanovené na základě Proctorovy zkoušky může být maximálně 20 kg/m³.

Hmotnosti těles a jejich odchýlení od maximální objemové hmotnosti suché směsi jsou uvedeny v příloze 4. Maximální povolená odchylka byla u některých těles mírně překročena. U těchto těles jsem později kontrolovala, zda nevykazovala nestandardní hodnoty při zkoušce pevnosti v tlaku nebo namrzavosti. Nezaznamenala jsem však žádný negativní vliv na výsledky těchto zkoušek.

Všechna vyrobená tělesa jsem postupně ukládala do klimatizované komory, na jejímž dně se nacházela nádoba s vodou, která zajistila, že tělesa zrála za minimální ztráty vlhkosti. Doba zrání těles byla stanovena na 28 dní. [24] [25]

Při výrobě zkušebních těles ze směsi pojiv a zeminy č. 1 i zeminy č. 2 nenastaly žádné větší komplikace. Tělesa šla poměrně snadno vyjmout z formy, aniž by došlo k jejich poškození. Výroba těles ze zeminy č. 3 byla komplikovanější. Zejména, pokud byla upravena pouze cementem, vykazovala směs velmi plastické chování. Zemina se špatně hutnila a po vyjmutí z formy byly na povrchu tělesa znatelné nerovnosti.



Obr. 43: Tělesa ze směsi Z1V – vizuálně kompaktní



Obr. 44: Tělesa ze směsi Z3C – viditelné póry a mezery

10.5.2. Zkoušení těles

Pevnost v tlaku zkušebních těles jsem testovala po již zmíněných 28 dnech zrání. Zkoušku jsem provedla na základě normy ČSN EN 13286-41 Nestmelené a stmelené směsi hydraulickými pojivy – Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy.

K určení pevnosti v tlaku těles jsem využila hydraulický zkušební lis, kam jsem těleso uložila centricky tak, aby bylo zatěžováno rovnoměrně jednoosým tlakem. Na těleso jsem položila tlačný nástavec a pohyblivé ložisko, které napomáhalo správnému rozložení tlačné síly. [24] [25]

Postup zkoušení

Hydraulický zkušební lis byl elektronicky řízený přístroj, který po nastavení a spuštění působil jednoosým tlakem na zkušební těleso. Přístroj byl propojen s počítačovým programem, který sloužil k záznamu průběhů a výsledků zkoušení. Zatěžování probíhalo plynule rychlostí 1,27 mm/min. a skončilo v momentě porušení tělesa. Pokud byla tělesa porušena správně, byly na nich viditelné svislé trhliny. Program zaznamenával hodnoty tlakové síly a přetvoření v průběhu zatěžování.

Z každého druhu směsi jsem na zkoušku pevnosti v tlaku měla vyrobena tři zkušební tělesa. Maximální hodnoty působící tlakové síly jsem pro každé těleso přepočítala na pevnost v tlaku a následně jsem vypočítala průměrnou pevnost v tlaku těchto tří zkušebních těles. Pokud se maximální tlaková síla působící na jednotlivá tělesa odchylovala o více než 20 % od průměru, pak jsem toto těleso k vyhodnocení výsledků nepoužila.

Ze zaznamenaných dat průběhu zatěžování jsem sestrojila graf závislosti tlakové síly na přetvoření. Jeden graf seskupuje tři zatěžovací křivky těles vyrobených ze stejných směsí viz příloha 7. [24] [25]



Obr. 45: Porušení tělesa ze směsi Z1C



Obr. 46: Porušení tělesa ze směsi Z1V



Obr. 47: Porušení tělesa ze směsi Z2C



Obr. 48: Porušení tělesa ze směsi Z2V



Obr. 49: Porušení tělesa ze směsi Z3C



Obr. 50: Porušení tělesa ze směsi Z3V

Rovnice pro výpočet pevnosti v tlaku: [24]

$$R_c = \frac{F}{A_c}$$

R_c pevnost v tlaku zkušebního tělesa směsi stmelené hydraulickým pojivem [MPa]

F maximální síly při porušení zkušebního tělesa [N]

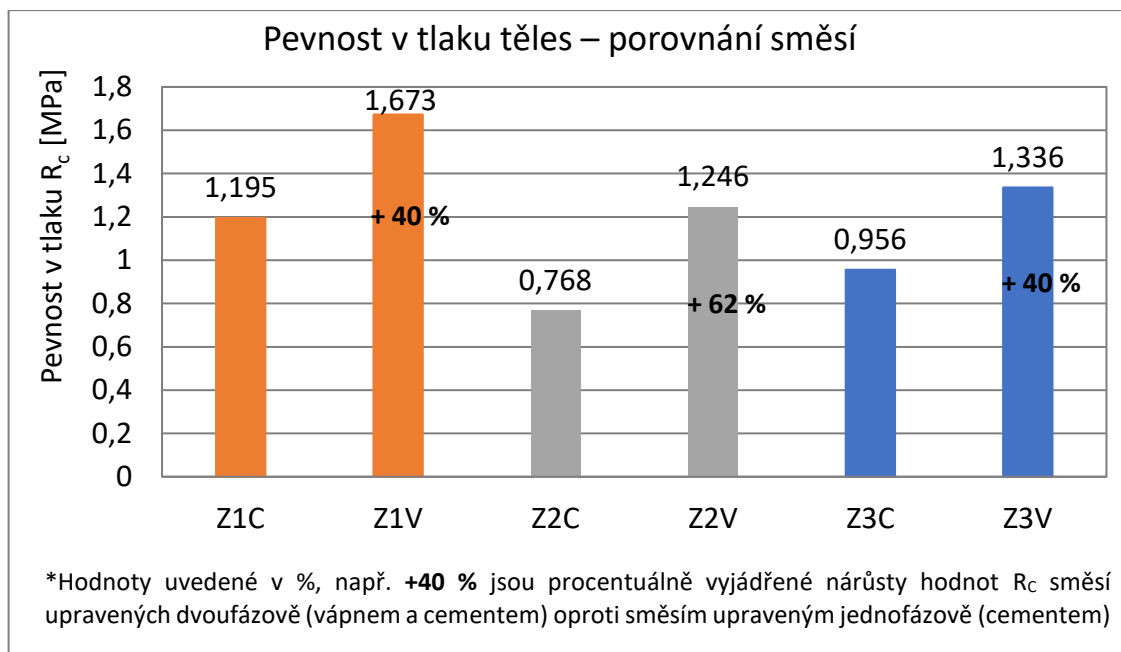
A_c plocha průřezu zkušebního tělesa směsi stmelené hydraulickým pojivem [mm²]

Výsledky

Z naměřených dat jsem vyloučila hodnotu tlakové síly tělesa 1C5, tedy tělesa vyrobeného ze zeminy č. 1 s 2 % cementu. Toto těleso mělo hodnotu tlakové síly odchýlenou o více než 20 % od průměru tlakových sil pro tuto směs.

Tab. 22: Zkouška pevnosti v tlaku

| PEVNOST V TLAKU R_c | | | | Plocha průřezu: $A_c = 78,540 \text{ cm}^2$ | | | |
|-----------------------|-------------------------|----------------|-----------------|---|--|---|----------------|
| Zemina | Pojivo | Označení směsi | Označení tělesa | Maximální tlaková síla F_i [kN] | Průměrná max. tlaková síla F [kN] | Průměrná pevnost v tlaku R_c [MPa] | Třída pevnosti |
| Zemina č. 1 F4 CS | Cement 2 % | Z1C | 1C5 | 6,598 | 9,389 | 1,195 | $C_{0,8/1,0}$ |
| | | | 1C6 | 9,490 | | | |
| | | | 1C7 | 9,287 | | | |
| | Vápno 2 % Cement 2 % | Z1V | 1V5 | 13,576 | 13,142 | 1,673 | |
| | | | 1V6 | 13,622 | | | |
| | | | 1V7 | 12,227 | | | |
| Zemina č. 2 F3 MS | Cement 2 % | Z2C | 2C5 | 7,412 | 6,032 | 0,768 | $C_{0,4/0,5}$ |
| | | | 2C6 | 5,381 | | | |
| | | | 2C7 | 5,302 | | | |
| | Vápno 2 % Cement 2 % | Z2V | 2V5 | 10,172 | 9,857 | 1,246 | |
| | | | 2V6 | 9,639 | | | |
| | | | 2V7 | 9,541 | | | |
| Zemina č. 3 F8 CV | Cement 2 % | Z3C | 3C5 | 7,686 | 7,509 | 0,956 | $C_{0,4/0,5}$ |
| | | | 3C6 | 7,864 | | | |
| | | | 3C7 | 6,976 | | | |
| | Vápno 2 % Cement 2 % | Z3C | 3V5 | 10,705 | 10,390 | 1,336 | |
| | | | 3V6 | 10,074 | | | |
| | | | 3V7 | 10,705 | | | |



Graf 7: Pevnost v tlaku těles – porovnání směsí

Vyhodnocení

Nejvyšší pevnosti jak po jednofázové, tak po dvoufázové úpravě, vykazovala zemina č. 1. Naopak nejnižší hodnoty vykazovala zemina č. 2. Jelikož si jsou zeminy č. 1 a č. 2 charakterově velmi podobné, zemina č. 1 je písčítý jíl a zemina č. 2 písčítá hlína, lze usuzovat, že zemina č. 2 obsahuje větší množství organických látek, které negativně ovlivňují pevnost směsí. Z výsledků pevnosti zeminy č. 3 lze usoudit, že vysoká plasticita zeminy nemá negativní vliv na pevnost směsí.

Pevnost v tlaku zkušebních těles také prokázala znatelný nárůst pevnosti po úpravě zemin dvoufázovým systémem. Procentuální nárůsty pevnosti zemin po dvoufázové úpravě byly 56 % u zeminy č. 1, 62 % u zeminy č. 2 a 40 % u zeminy č. 3. Z tohoto hlediska dvoufázová úprava nejlépe zafungovala u zeminy č. 2.

Směsi jsem zařadila dle ČSN EN 14227-15 do jednotlivých tříd pevnosti. Směsi odpovídaly pevnostním třídám $C_{0,4/0,5}$, $C_{0,8/1,0}$ a $C_{1,2/1,5}$.

10.6. Zkouška namrzavosti

Zkoušku namrzavosti směsí jsem prováděla dle normy ČSN 72 1191 Zkoušení míry namrzavosti zemin.

Tato zkouška napodobuje účinek mrazu na podloží vozovky za nepříznivého kapilárního sycení vodou. Měří se velikost mrazového zdvíhu a vyhodnocuje míra namrzavosti zeminy β . [26]

Postup zkoušení

Zkoušku namrzavosti jsem prováděla vždy na 3 tělesech vyrobených ze stejné směsi dle kapitoly 9.5.1. *Výroba zkušebních těles*, která zrála v klimatizované komoře 28 dní. Správně by zkouška měla probíhat na čtyřech tělesech, bohužel jedno chladicí zařízení potřebné k provádění této zkoušky nefungovalo. Tělesa jsem umístila do chladicího boxu. Zde byla uložena v plastových válcích na děrovaném podkladu a na horní podstavě tělesa bylo umístěno chladicí zařízení. Těleso postavené na děrované podložce jsem nechala po dobu minimálně 17 hodin saturovat vodou, která byla k tělesu přiváděna zespodu. Po této době jsem nastavila teplotu chladicího boxu na $-4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a za ustáleného vodnotepelného režimu byly po dobu 120 hodin měřeny mrazové zdvihy. Průběh mrazových zdvihů v čase byl podrobně zaznamenán do programu.

Výstupní data jsem v hodinových intervalech zaznamenala do tabulky a grafu. Z dat jsem pomocí rovnice vypočítala míru namrzavosti β pro každé zkoušené těleso. Výsledná míra namrzavosti je aritmetickým průměrem těchto hodnot. Hodnoty zaznamenané v grafu jsem proložila přímkou, jejíž směrnice odpovídá hodnotě míry namrzavosti β .

Pokud se hodnoty namrzavosti β z jednotlivých hodinových intervalů výrazně lišily od jejich průměrné hodnoty, pak jsem tyto naměřené hodnoty vyloučila a dále s nimi nepracovala. Takto jsem v několika případech vyloučila hodnoty získané ve 118–119 hodině, které byly oproti zbylým hodnotám velmi vysoké. Dále jsem při vyhodnocování výsledků vyloučila míry namrzavosti těles, které se výrazně odchylovaly od ostatních. [26]

Záznamy naměřených hodnot jsou uvedeny v příloze 9.



Obr. 51: Zkouška namrzavosti – tělesa ze směsi Z1C



Obr. 52: Zkouška namrzavosti – tělesa ze směsi Z3C

Rovnice pro výpočet míry namrzavosti β : [26]

$$\beta = \frac{\Delta h}{\Delta I_m}$$

β míra namrzavosti β

Δh naměřený zdvih zkoušeného vzorku [mm] odpovídající ΔI_m

I_m index mrazu [°C]

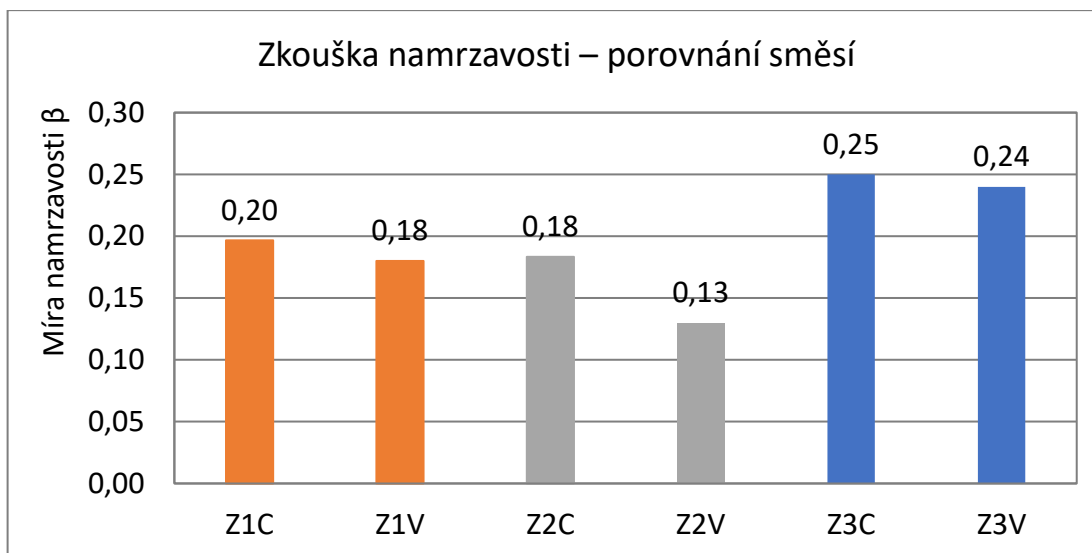
Výsledky

Hodnoty míry namrzavosti β pro jednotlivá tělesa jsem zaznamenala do tabulky. Červeně vyznačené hodnoty jsem pro výpočet míry namrzavosti směsí nepoužila, protože se výrazně odchylovala od ostatních hodnot.

Průběh zkoušky namrzavosti vzorku 3C2 byl narušen vniknutím nemrzoucí kapaliny do zkušebního tělesa. Míru namrzavosti tohoto vzorku jsem z výsledků vyloučila.

Tab. 23: Zkouška namrzavosti těles – výsledky

| Zemina | Pojivo | Ozn. směsi | Ozn. tělesa | Mrazový zdvih tělesa [mm] | Průměrná hodnota β vzorků | Celkový průměr β směsí | Namrzavost |
|----------------------|-------------------------|------------|-------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------|
| Zemina č. 1 F4 CS | Cement 2 % | Z1C | 1C4 | 3,69 | 0,22 | 0,20 | Nenamrzavá |
| | | | 1C3 | 2,07 | 0,16 | | |
| | | | 1C2 | 3,93 | 0,21 | | |
| | Vápno 2 % Cement 2 % | Z1V | 1V1 | 2,54 | 0,04 | 0,18 | Nenamrzavá |
| | | | 1V2 | 2,97 | 0,17 | | |
| | | | 1V3 | 2,59 | 0,19 | | |
| Zemina č. 2 F3 MS | Cement 2 % | Z2C | 2C1 | 2,45 | 0,19 | 0,18 | Nenamrzavá |
| | | | 2C2 | 2,49 | 0,20 | | |
| | | | 2C3 | 2,10 | 0,16 | | |
| | Vápno 2 % Cement 2 % | Z2V | 2V2 | 1,58 | 0,12 | 0,13 | Nenamrzavá |
| | | | 2V3 | 1,85 | 0,14 | | |
| | | | 2V4 | 0,77 | 0,07 | | |
| Zemina č. 3 F8 CV | Cement 2 % | Z3C | 3C1 | 4,87 | 0,29 | 0,25 | Nenamrzavá |
| | | | 3C2 | porušené těleso | | | |
| | | | 3C3 | 3,79 | 0,21 | | |
| | Vápno 2 % Cement 2 % | Z3C | 3V1 | 3,26 | 0,23 | 0,24 | Nenamrzavá |
| | | | 3V2 | 5,42 | 0,40 | | |
| | | | 3V3 | 3,25 | 0,24 | | |



Graf 8: Zkouška namrzavosti – porovnání směsí

Vyhodnocení

Po vyloučení některých hodnot ze zkoušky namrzavosti zemin jsem získala výsledné míry namrzavosti pro jednotlivé upravené zeminy.

Míra namrzavosti všech zemin je nižší po dvoufázové úpravě. Nejvíce míra namrzavosti klesla u zeminy č. 2 z hodnoty 0,18 u jednofázově upravené zeminy na hodnotu 0,13 při dvoufázové úpravě. Zemina č. 1 a zemina č. 3 vykazovaly pouze malý pokles míry namrzavosti po dvoufázové úpravě oproti úpravě jednofázové.

Celkově jsou všechny směsi vyhodnoceny jako nenamrzavé, přičemž nejnižší míru namrzavosti vykazovala zemina č. 2 po jednofázové i dvoufázové úpravě. Naopak zemina č. 3 má míru namrzavosti 0,25 po jednofázové úpravě a 0,24 po dvoufázové úpravě a pohybuje se tak na hranici zemin nenamrzavých a zemin mírně namrzavých až namrzavých.

Pro srovnání upravených a neupravených zemin, jsem orientačně, pouze na základě zrnitosti, vyhodnotila také míru namrzavosti zemin bez přidání pojiva nepřímou metodou za použití tzv. Scheiblova kritéria. Podle tohoto kritéria je zemina č. 1 a zemina č. 2 vyhodnocena jako namrzavá a zemina č. 3 jako nebezpečně namrzavá. Tato metoda je graficky zaznamenána v příloze č. 8.

10.7. Zkouška methylenovou modří

Tato zkouška byla prováděna dle normy ČSN EN 933-9+A1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 9: Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří.

Tato zkouška se standardně využívá pro zkušební navážku kameniva. Do suspenze kameniva a vody je přidáván roztok methylenové modři a stanovuje se adsorpce barevného roztoku zkušební navážkou. Lze ji aplikovat na zeminy a upravené zeminy,

pokud poměrově snížíme dávkování. Tato úprava je nutná z důvodu velké adsorpce barviva zeminou. [27]

Zkouška metyhelnovou modří stanovuje, zda je či není zemina vhodná pro úpravu cementem. Zemina je vhodná pro úpravu cementem, pakliže je hodnota methylenové modře menší než 10. [12]

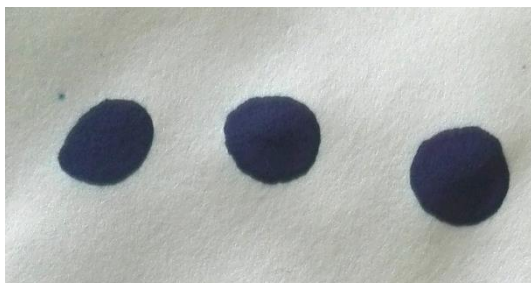
Postup zkoušky

Zeminu jsem přesála na síť 0/2 mm, vysušila v sušárně při 110 °C a odvážíla 40 g. Tuto navážku jsem smíchala se 100 ml destilované vody a míchala 5 minut automatickým míchadlem při 600 ot/min. Dále jsem si připravila roztok methylenové modři, která obsahovala 5 g methylenové modři a 500 ml destilované vody. Tento roztok jsem míchala 10 minut magnetickým míchadlem.

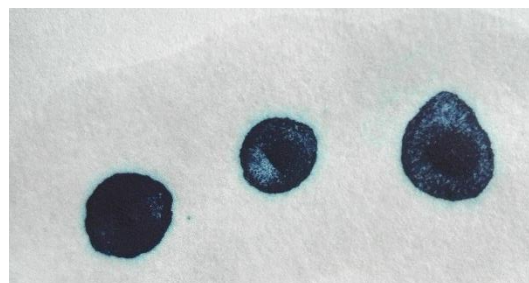
Roztok methylenové modři jsem nalila do byrety, ze které jsem ho postupně dávkovala do suspenze zeminy s vodou. Roztok jsem nejdříve dávkovala do zeminy po 10 ml, posléze po 5 ml dávkách. Po přidání jedné dávky roztoku methylenové modři do suspenze jsem suspenzi míchala 1 minutu automatickým míchadlem při 400 ot/min. Poté jsem skleněnou tyčinkou nabrala suspenzi a kápala postupně tři kapky na filtrační papír. Tento postup jsem opakovala, dokud se kolem kapiček neobjevila světle modrá záře. Pokud došlo ke světle modrému zbarvení okrajů kapiček, pokračovala jsem v míchání suspenze bez přidání roztoku barviva a po jedné minutě provedla kontrolu zbarvení. Tuto kontrolu zbarvení jsem provedla dvakrát. Pokud světle modrý okraj kolem kapiček vydržel 5 minut, považovala jsem zkoušku za ukončenou. Odečetla jsem objem přidaného roztoku barviva a pomocí rovnice vyjádřila hodnotu methylenové modři. [27]

Tuto zkoušku jsem prováděla také na vápnem upravených zeminách a pozorovala změnu hodnoty methylenové modře.

Záznamy z měření doplněné o fotodokumentaci jsou v příloze 10.



Obr. 53: Kapka roztoku MM bez světle modrého zbarvení okrajů



Obr. 54: Kapka roztoku MM se světle modrým zbarvením okrajů

Rovnice pro výpočet hodnoty methylenové modři: [27]

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10$$

M_1 hmotnost zkušební navážky [g]

V_1 celkový objem vstříknutého barviva [ml]

Výsledky

Tab. 24: Zkouška methylenovou modří

| Zemina | Pojivo | Objem methylenové modři V_1 [ml] | Hodnota methylenové modře MB |
|---------------------|-----------|------------------------------------|------------------------------|
| Zemina č.1 F4 CS | Žádné | 55,00 | 13,75 |
| | Vápno 2 % | 25,00 | 6,25 |
| Zemina č.2 F3 MS | Žádné | 30,00 | 7,50 |
| | Vápno 2 % | 20,00 | 5,00 |
| Zemina č.3 F8 CV | Žádné | 70,00 | 17,50 |
| | Vápno 2 % | 55,00 | 13,75 |

Hmotnost zkušební navážky $M_1 = 40$ g

Vyhodnocení

Cílem úpravy zemin vápnem bylo snížit hodnotu methylenové modře pod 10. Nejlepší výsledek byl u zeminy č. 1, která před úpravou vápnem měla hodnotu methylenové modře 13,75, po úpravě tato hodnota klesla na 7,50. Zemina č. 2 také vykazovala snížení hodnoty methylenové modře, nicméně už samotná zemina bez úpravy má hodnotu methylenové modře menší než 10, předúprava této zeminy vápnem tedy není nutná. Naopak hodnota methylenové modře u zeminy č. 3 ani po úpravě vápnem neklesla pod deset, tato zemina se tedy jeví jako nevhodná k úpravě cementem. Pro porovnání výsledků však byla i tato zemina v diplomové práci upravena cementem

11. ZÁVĚR

Teoretická část mé diplomové práce popisuje celkovou problematiku úpravy vlastností podloží vozovek. Jedná se o souhrn informací, které vedou k pochopení chování zemin a upravených zemin, do té míry, aby mohlo být toto téma rozvinuto o méně obvyklou možnost úpravy podloží vozovky. Práce se soustřeďuje na chemickou úpravu zemin pojivy, přičemž pro komplexnost informací okrajově zmiňuje i další možnosti úpravy podloží vozovky – mechanickou úpravu a vyztužování.

Zeminy v podloží vozovky bývají často plastické, mají nevyhovující zrnitost, vlhkost či obsahují mnoho organických látek. Tyto zeminy jsou nevyhovující pro použití do podloží vozovky a musí být upraveny pojivy s cílem zlepšit jejich fyzikální a mechanické vlastnosti. Jedná se o snížení vlhkosti zeminy, snížení plasticity, zvýšení zpracovatelnosti a zhutnitelnosti. Díky těmto změnám se zvýší únosnost a pevnost či sníží hodnota namrzavosti upravené zeminy.

Úprava zemin je velmi žádanou a často využívanou technikou, jelikož výskyt zemin nevhodných, případně podmíněčně vhodných k použití do aktivní zóny, násypu či podloží násypu, je poměrně častý. V naprosté většině případů je časově i ekonomicky výhodnější nevhodnou zeminu upravit než odtěžit.

Existuje široká škála pojiv, kterými lze zeminu upravit. Vždy je důležité zvolit správný druh a dávkování pojiva pro dosažení požadovaných vlastností u konkrétního druhu zeminy. Úprava zemin vápnem je využívána pro zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností převážně jemnozrnných zemin s vyšší plasticitou, zatímco cement slouží pro úpravu zemin s nižší plasticitou. Pokud je použito pojivo, které obsahuje vápno i cement, pak je vápno složkou, která upravuje zpracovatelnost zeminy a cement poskytuje pevnost upravené zeminy.

Teoretická část se dále zaměřuje na dvoufázový systém úpravy, který je pro praktickou část této diplomové práce stěžejní. Pro jeho pochopení bylo nutné seznámit se se všemi aspekty jednofázové úpravy zemin. Dvoufázový systém upravuje zeminu ve dvou krocích. Nejprve je zemina vápnem zlepšena, stává se lépe zpracovatelnou a po určité době je zemina stabilizována cementem, díky kterému se zvyšuje pevnost směsi. Dvoufázový systém je vhodný pro zeminy k jejichž úpravě je potřeba využít kombinaci pojiv – vápna i cementu nebo, v případě úpravy nehomogenního podloží, kde se střídají zeminy s odlišnými fyzikálními vlastnostmi.

V praktické části byla nejdříve provedena zkouška zrnitosti a zkouška konzistenčních mezí, na základě kterých byly zeminy zatříděny. Byly použity tři druhy zemin. Jednalo se o písčité jíly F4 CS, v práci byla tato zemina označována jako zemina č. 1. Zemina č. 2 byla zatříděna jako písčité hlíny F3 MS. Zemina č. 3 byla klasifikována jako jíly s velmi vysokou plasticitou F8 CV.

Všechny zeminy byly upraveny jednofázovým i dvoufázovým systémem. V případě použití jednofázové úpravy byly do zeminy přidány 2 % cementu a potřebné množství vody. Při dvoufázové úpravě byla zemina nejprve zlepšena 2 % vápna, poté byla ponechána přibližně 15 hodinová doba, která sloužila pro úpravu vlastností zeminy a to snížení indexu plasticity, snížení obsahu jílovitých částic a zlepšení zpracovatelnosti. Ve druhé fázi byla zemina stabilizována 2 % cementu a potřebným množstvím vody. Kombinací třech druhů zemin a dvou způsobů úprav vzniklo šest směsí.

Pro všechny tyto směsi byla provedena Proctorova zkouška zhutnitelnosti. Na základě této zkoušky byla vyhodnocena optimální vlhkost potřebná pro zhutnění směsi na maximální objemovou hmotnost suché směsi. Proctorova zkouška viditelně poukázala na důležitý fakt – pokud byly zeminy upraveny vápnem, Proctorova křivka měla plošší tvar, než křivka u zeminy neupravené nebo upravené pouze cementem. Z toho lze vyvodit, že zeminy upravené vápnem jsou dobře zhutnitelné na maximální objemovou hmotnost suché směsi při širším rozsahu vlhkosti.

Dále byla provedena zkouška okamžitého indexu únosnosti IBI a kalifornského poměru únosnosti CBR. Na základě zkoušky IBI byla vyhodnocena vhodnost upravených zemin do násypu a podloží násypu. Zemina je vhodná do násypu/podloží násypu, pokud je hodnota IBI větší než 10 %. Na hranici této hodnoty se pohybovaly zemina č. 1 (písečný jíl) a zemina č. 2 (písečná hlína) po jednofázové úpravě cementem. Po dvoufázové úpravě vápnem a cementem tyto hodnoty výrazně vzrostly. U zeminy č. 1 byl nárůst hodnoty IBI 83 % a hodnota IBI u zeminy č. 2 vzrostla o 60 %. Bohužel u zeminy č. 3 (jíl s velmi vysokou plasticitou) byla hodnota po jednofázové úpravě pouze 9 % a tato hodnota nevzrostla ani po dvoufázové úpravě této zeminy. Hodnota CBR sloužila k vyhodnocení, zda je upravená zemina vhodná do aktivní zóny vozovky a zatřídila upravenou zeminu do jednotlivých typů podloží PI, PII a PIII. Hodnota CBR u každé směsi vzrostla při dvoufázové úpravě minimálně na dvojnásobnou hodnotu oproti úpravě jednofázové. U všech zemin bylo po úpravě dvoufázovým systémem dosaženo hodnoty CBR odpovídající nejlepšímu typu podloží PI. Největší procentuální nárůst hodnoty CBR byl zaznamenán u zeminy č. 2, kde hodnota vzrostla o 135 %.

Další zkouškou byla zkouška pevnosti v tlaku. Tato zkouška byla provedena na zhutněných válcových tělesech po 28 dnech zrání. Z každé směsi byla vyrobena 3 tělesa a výsledná pevnost v tlaku směsi byla určena na základě průměrné pevnosti těchto tří těles. Pevnost v tlaku těles upravených cementem se pohybovala kolem hodnoty 0,8-1,2 MPa. Pevnost v tlaku těles upravených vápnem i cementem byla přibližně 1,2-1,7 MPa. Procentuální nárůst pevnosti se u všech směsí pohyboval kolem 50 %, nejvyšší nárůst byl zaznamenán u zeminy č. 2 (písečná hlína), kde dosahoval hodnoty 62 %. Žádná ze směsí nedosahovala hodnoty odpovídající zařazení do třídy pevnosti C_{1,5/2}, tedy nejnižší třídy pevnosti směsi, kterou je možné využít jako podkladní vrstvu vozovky.

Zkouška namrzavosti byla také prováděna na zkušebních tělesech po 28 dnech zrání. Pomocí této zkoušky byla hodnocena namrzavost upravených zemin. Ty lze rozdělit do tří skupin. Jedná se o zeminy nenamrzavé, mírně namrzavé až namrzavé a nebezpečně namrzavé. Všechny upravené zeminy byly zařazeny do skupiny zemin nenamrzavých. Největší hodnoty míry namrzavosti vykazovala zemina č. 3, tedy jíla s velmi vysokou plasticitou. Po jednofázové i dvoufázové úpravě se tato hodnota pohybovala na hranici zemin nenamrzavých a mírně namrzavých až namrzavých. Všechny hodnoty míry namrzavosti byly po dvoufázové úpravě nižší než po jednofázové úpravě. U zemin č. 1 a č. 3 byl pokles nepatrný. Výrazný pokles hodnoty míry namrzavosti byl zaznamenán u zeminy č. 2.

Poslední prováděnou zkouškou bylo stanovení hodnoty methylenové modře. Tato zkouška sloužila ke stanovení, zda je nebo není zemina vhodná k úpravě cementem. Pokud je zemina vhodná k úpravě cementem, hodnota methylenové modře musí být menší než 10. Hodnota methylenové modře u zeminy č. 1 (písečný jíl) a č. 3 (jíl s velmi vysokou plasticitou) byla v případě zkoušení zeminy bez úpravy větší než 10. U zeminy č. 1 tato hodnota po úpravě vápnem klesla pod 10, ale u zeminy č. 3 nikoli. Zemina č. 2 (písečná hlína) měla hodnotu methylenové modře nižší než 10 bez úpravy i po úpravě vápnem. Z této zkoušky vyplynulo, že zemina č. 2 je vhodná pro úpravu cementem bez úpravy i po úpravě vápnem. Zemina č. 1 je vhodná pouze po úpravě vápnem. Zemina č. 3 se k úpravě cementem nehodí nikdy. Jedná se ale pouze o doplňující druh zkoušky založený na zahraničních zkušenostech.

Při celkovém zhodnocení chování zemin po jednofázové a dvoufázové úpravě je důležité poukázat na několik faktů. Všechny výsledné hodnoty zkoušek jsou lepší po dvoufázové úpravě zemin než po jednofázové. Ve většině případů se jedná o znatelný procentuální nárůst hodnot IBI, CBR a pevnosti v tlaku. Dvoufázový systém úpravy se tedy jeví jako kvalitní systém úpravy pro zkoušené typy zemin.

Z výsledků zkoušek, respektive z porovnání procentuálního nárůstu hodnot IBI, CBR, pevnosti v tlaku a poklesu namrzavosti po jednofázové a dvoufázové úpravě dále vyplývá, že nejlépe na dvoufázovou úpravu reagovala zemina č. 2 (písečná hlína). Po dvoufázové úpravě se podstatně zvýšila hodnota IBI. Hodnota CBR a hodnota pevnosti v tlaku vykazovaly procentuálně největší nárůst při srovnání s ostatními zeminami. Hodnota namrzavosti naopak vykazovala největší pokles. Tyto výsledky jsou trochu překvapivé. Vzhledem k nízkému I_p zeminy č. 2 jsem předpokládala, že cement bude se zeminou reagovat dostatečně dobře a vliv dvoufázové úpravy na tuto zeminu nebude tak značný. To, že dvoufázová úprava u této zeminy přinesla tak dobré výsledky lze vysvětlit tím, že zemina zřejmě obsahuje nezanedbatelné množství jílovitých částic, které dobře reagují na úpravu vápnem, ale také podstatné množství písečných částic, které po úpravě cementem přispívají k nárůstu pevnosti směsi.

Dále stojí za zmínění, že ačkoli mají zemina č. 1 (písčité jíly) a zemina č. 2 (písčité hlíny) velmi podobnou zrnitost i plasticitu, není jejich chování po jednofázové a dvoufázové úpravě stejné. Podstatně se liší například pevnost v tlaku směsí, kdy po jednofázové i dvoufázové úpravě zemina č. 1 dosahuje podstatně vyšších pevností než stejným způsobem upravená zemina č. 2.

Zemina č. 3, tedy jíla s velmi vysokou plasticitou, který patří mezi zeminy nevhodné pro použití do podloží bez úpravy, dosahuje velmi dobrých výsledků při zkoušce CBR. Po jednofázové úpravě je zemina zařazena do podloží typu PIII, ale po dvoufázové úpravě výrazně vzroste hodnota CBR a podloží dosáhne na kvalitu podloží typu PI.

Při využití dvoufázové úpravy v praxi je nutné zhodnotit vhodnost jejího použití. Tato úprava může přinést výrazné zlepšení zejména únosnosti a pevnosti vybraných zemín. Jedná se o zeminy s vysokou plasticitou, u kterých je nejdříve potřeba zlepšit jejich fyzikální vlastnosti a až poté mechanické. Dále zeminy se značným obsahem jílovitých i písčitých částic, kde je použitím vápna dosaženo flokulace jílovitých částic a použitím cementu dojde k pucolánové reakci. Využití najde dvoufázová stabilizace také v případě výskytu nehomogenního podloží. Zároveň je ale provedení dvoufázové úpravy technologicky náročnější a je vždy nutné zhodnotit, zda se tato úprava ekonomicky vyplatí, oproti jiným možnostem úpravy podloží vozovek.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1] ZAJÍČEK, Jan. *Technologie stavby vozovek*. Praha: ČKAIT, 2014. ISBN 978-80-87438-59-6.
- [2] ČOPÁKOVÁ, Iveta. *Sada 3 – Inženýrské stavby 06. Konstrukce a stavba vozovek*. Střední škola stavební Jihlava, 2012.
- [3] HÝZL, Petr. Poruchy vozovek a jejich příčiny. In: *Sdružení pro výstavbu silnic* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: <http://www.sdruzeni-silnice.cz>
- [4] ČSN 73 6133. *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010
- [5] HAVELKA, Jaroslav. Podkladní vrstvy a podloží vozovek. In: *Sdružení pro výstavbu silnic* [online]. [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: http://pvpv.sdruzeni-silnice.cz/prezentace/data/t1-3_havelka.pdf
- [6] TP 94: *Úprava zemin*. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2013.
- [7] BEHNOOD, Ali. Soil and clay stabilization with calcium- and non-calcium-based additives: A state-of-the-art review of challenges, approaches and techniques. *Transportation Geotechnics* [online]. 2018, (17), 14-32 [cit. 2018-12-23]. ISSN 2214-3912. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214391218300904?via%3Dihub>
- [8] Fly ash. In: *Vereai enterprise* [online]. Gujarat [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: <https://veraigroup.com/slag-cement-and-fly-ash>
- [9] Hydraulic lime. In: *Indiamart* [online]. [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/hydraulic-lime-11368269355.html>
- [10] Ground Granulated Blast Furnace Slag. In: *Indiamart* [online]. [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/ground-granulated-blast-furnace-slag-18995731833.html>
- [11] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty* [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodah/sh/SH4v1.pdf>
- [12] Limed soils as a replacement for construction sand in stabilized sands. *Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development* [online]. ICE Virtual Library, 2015, s. 2565-2570 [cit. 2018-12-20]. ISBN 978-0-7277-6067-8. Dostupné z: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/ecsmge.60678.vol5.395>

- [13] Výroba cementu. In: *Českomoravský cement, Heilderberg cement group* [online]. [cit. 2018-26-12]. Dostupné z: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/cement/vyroba>
- [14] LEMAIRE, Kévin;deneele. Effects of lime and cement treatment on the physicochemical, microstructural and mechanical characteristics of a plastic silt. *Engineering Geology* [online]. 2013, 166, 255-261 [cit. 2018-12-28]. DOI: 10.1016/j.enggeo.2013.09.012. ISSN 00137952.
- [15] LUCIAN, Charles. Effectiveness Of Mellowing Time On The Properties Of Two-Stage Lime-Cement Stabilized Expansive Soils. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* [online]. 2013, 2(5), 623-634 [cit. 2018-12-16]. ISSN 2278-0181. Dostupné z: <https://www.ijert.org/research/effectiveness-of-mellowing-time-on-the-properties-of-two-stage-lime-cement-stabilized-expansive-soils-IJERTV2IS50469.pdf>
- [16] PAVELKA, Ondřej. *Zlepšování mechanicko-fyzikálních vlastností zemin pomocí hydraulických pojiv*. Pardubice, 2010. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Doc. Ing. Vladimír Doložel, CSc.
- [17] Viacalco. In: *Carmeuse stavba* [online]. [cit. 2018-12-24]. Dostupné z: <http://www.carmeuse-construction.com/cs/viacalco-0>
- [18] TP 97: *Geosyntetika v zemním tělese pozemních komunikací*. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2008.
- [19] MÍČA, Lumír. *Zemní konstrukce (se zaměřením na dopravní stavby)*. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky, 2016
- [20] Geomříže TENAX, výztužná síťovina NOTEX, výztužný kompozit GEOTER. In: *Marcador constructions produkt* [online]. [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: <http://www.marcador.cz/index.php/produkty/geomrize>
- [21] *Speciální problémy dopravních staveb I: Zeminy, zlepšené zeminy, zemní práce; Skriptum k přednáškám 2011*, VUT v Brně, Fakulta staveb
- [22] ČSN EN 13286-47. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [23] ČSN 14227-15. *Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 15: Zeminy stabilizované hydraulickými pojivy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016

- [24] ČSN EN 13286-41: *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelných hydraulickými pojivy*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [25] Monika Švarcová *Využití drobného kameniva do směsí stmelných hydraulickým pojivem*. Brno, 2017. 74 s., 8 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
- [26] ČSN 72 1191. *Zkoušení míry namrzavosti zemin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013
- [27] ČSN EN 933-9+A1: *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 9: Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [28] BARRO, Giorgio. Soil stabilization with lime/cement. *Anese* [online]. 2018 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.anese.it/en/2018/04/18/soil-stabilization-with-lime-cement/>
- [29] *Effects of cement and lime treatment on geotechnical properties of a low plasticity clay* [online]. Iran, 2013 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/267097580_Effects_of_cement_and_lime_treatment_on_geotechnical_properties_of_a_low_plasticity_clay
- [30] LUCIAN, Charles. Stress-Strain Behaviours Of Two Stage Lime-Cement Treated Expansive Soils. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)* [online]. 2012, 2(6), 4405-4409 [cit. 2018-12-30]. ISSN 2249-6645. Dostupné z: http://www.ijmer.com/papers/Vol2_Issue6/CY2644054409.pdf
- [31] ČSN EN 933-1: *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*. Praha: Český normalizační institut, 2012
- [32] MOHYLA, Marek. Mechanika hornin a zemin. In: *Geotechnici.cz* [online]. VŠB Technická univerzita Ostrava [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: <http://home1.vsb.cz/~moh050>
- [33] ČSN CEN ISO/TS 17892-12. *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin: Část 12: Stanovení konzistenčních mezí*. Český normalizační institut, 2004
- [34] ČSN EN 13286-2: *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Proctorova zkouška*. Praha: Český normalizační institut, 2011.

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tab. 1: Vhodnost zemin pro pozemní komunikace [4] | 15 |
| Tab. 2: Orientační hodnoty změn vlastností zemin vztažené na 1 % příměsi pojiva [1] | 21 |
| Tab. 3: Požadované hodnoty CBR pro upravené zeminy pro aktivní zónu [6] | 28 |
| Tab. 4: Požadované hodnoty poměru únosnosti upravených zemin v násypu a podloží vozovky [6] | 29 |
| Tab. 5: Klasifikace podle pevnosti v tlaku [23]..... | 30 |
| Tab. 6: Kritérium míry namrzavosti [26] | 32 |
| Tab. 7: Druhy zeminy | 43 |
| Tab. 8: Laboratorní postup | 44 |
| Tab. 9: Rozměry otvorů sady zkušebních sít..... | 45 |
| Tab. 10: Zrnitost zemin | 47 |
| Tab. 11: Konzistenční meze | 49 |
| Tab. 12: Zrnitost zemin | 50 |
| Tab. 13: Konzistenční meze | 51 |
| Tab. 14: Klasifikace zemin a jejich vhodnost pro pozemní komunikace | 51 |
| Tab. 15: Druhy zkoušených směsí..... | 52 |
| Tab. 16: Vývoj vlhkosti při dvoufázové úpravě zemin | 53 |
| Tab. 17: Specifikace Proctorovy zkoušky dle normy ČSN EN 13286-2 | 54 |
| Tab. 18: Proctorova zkouška – souhrnné výsledky..... | 57 |
| Tab. 19: Specifikace výroby těles dle normy ČSN EN 13286-2 | 58 |
| Tab. 20: Standardní síla/penetrace ČSN EN 13286-47 | 60 |
| Tab. 21: Zkouška CBR a IBI – výsledky | 61 |
| Tab. 22: Zkouška pevnosti v tlaku | 66 |
| Tab. 23: Zkouška namrzavosti těles – výsledky | 69 |
| Tab. 24: Zkouška methylenovou modří | 72 |

SEZNAM GRAFŮ

| | |
|---|----|
| Graf 1: Křivky zrnitosti zemin..... | 46 |
| Graf 2: Proctorova zkouška– směsi se zeminou č. 1..... | 56 |
| Graf 3: Proctorova zkouška – směsi se zeminou č. 2..... | 56 |
| Graf 4: Proctorova zkouška – směsi se zeminou č. 3..... | 57 |
| Graf 5: Zkouška IBI – porovnání směsí..... | 60 |
| Graf 6: Zkouška CBR – porovnání směsí | 61 |
| Graf 7: Pevnost v tlaku těles – porovnání směsí..... | 67 |
| Graf 8: Zkouška namrzavosti – porovnání směsí | 70 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obr. 1: Konstrukce vozovky zdroj [2] | 13 |
| Obr. 2: Důsledky deformace podloží vozovky [3] | 14 |
| Obr. 3: Cement [8] | 17 |
| Obr. 4: Vápno [9] | 17 |
| Obr. 5: Popílek [8] | 18 |
| Obr. 6: Struska [10] | 18 |
| Obr. 7: Proces flokulace – neupravená zemina | 19 |
| Obr. 8: Proces flokulace – zemina upravená vápnem | 19 |
| Obr. 9: Mikroskopický snímek tvorby hydrogelu [14] | 21 |
| Obr. 10: Schéma násypu na měkkém podloží s vyztuženou bází [18] | 26 |
| Obr. 11: Zkouška CBR [1] | 28 |
| Obr. 12: Zkouška pevnosti v tlaku | 29 |
| Obr. 13: Zkouška namrzavosti – chladicí skříň [26] | 32 |
| Obr. 14: Zkouška methylenovou modří – sestavení aparatury | 33 |
| Obr. 15: Dávkovač | 35 |
| Obr. 16: Fréza připojená za traktorem | 35 |
| Obr.17: Odběr zemin č. 1 a č. 2 | 42 |
| Obr. 18: Místo odběru zeminy – deponie Ostravačice | 42 |
| Obr.19: Místo odběru zeminy č. 3 – Brno, Královo pole, retenční nádrž Červený mlýn | 42 |
| Obr. 20: Zemina č. 1 | 43 |
| Obr.21: Zemina č. 2 | 43 |
| Obr. 22: Zemina č. 3 po odběru | 43 |
| Obr. 23: Zemina č. 3 po sušení a zpracování | 43 |
| Obr. 24: Sada zkušebních sít | 45 |
| Obr. 25: Síto s otvory 0,063 mm | 45 |
| Obr 26: Konzistenční meze [32] | 47 |
| Obr. 27: Penetrační přístroj | 48 |
| Obr. 28: Penetrace kužele | 48 |

| | |
|--|----|
| Obr. 29: Penetrace kužele..... | 48 |
| Obr. 30: Popraskaná kulička zeminy | 49 |
| Obr. 31: Válečky o průměru 3 mm..... | 49 |
| Obr. 32: Trojúhelníkový diagram [21]..... | 50 |
| Obr. 33: Casagrandeho diagram [4]..... | 51 |
| Obr. 34: Z1 – vlhkost nižší než optimální | 55 |
| Obr. 35: Z1 – optimální vlhkost..... | 55 |
| Obr. 36: Z1 – vlhkost vyšší než optimální | 55 |
| Obr. 37: IBI – penetrace trnu | 59 |
| Obr. 38: IBI – těleso po penetraci trnu | 59 |
| Obr. 39: CBR – zraní tělesa..... | 59 |
| Obr. 40: CBR – saturace tělesa..... | 59 |
| Obr. 41: CBR – penetrace trnu se zatěžovacími prstenci | 60 |
| Obr. 42: CBR – těleso po penetraci trnu | 60 |
| Obr. 43: Tělesa ze směsi Z1V – vizuálně kompaktní | 63 |
| Obr. 44: Tělesa ze směsi Z3C – viditelné póry a mezery..... | 63 |
| Obr. 45: Porušení tělesa ze směsi Z1C | 65 |
| Obr. 46: Porušení tělesa ze směsi Z1V | 65 |
| Obr. 47: Porušení tělesa ze směsi Z2C | 65 |
| Obr. 48: Porušení tělesa ze směsi Z2V | 65 |
| Obr.49: Porušení tělesa ze směsi Z3C..... | 65 |
| Obr. 50: Porušení tělesa ze směsi Z3V | 65 |
| Obr. 51: Zkouška namrzavosti – tělesa ze směsi Z1C | 68 |
| Obr. 52: Zkouška namrzavosti – tělesa ze směsi Z3C | 68 |
| Obr. 53: Kapka roztoku MM bez světla modrého zbarvení okrajů | 71 |
| Obr. 54: Kapka roztoku MM se světle modrým zbarvením okrajů..... | 71 |

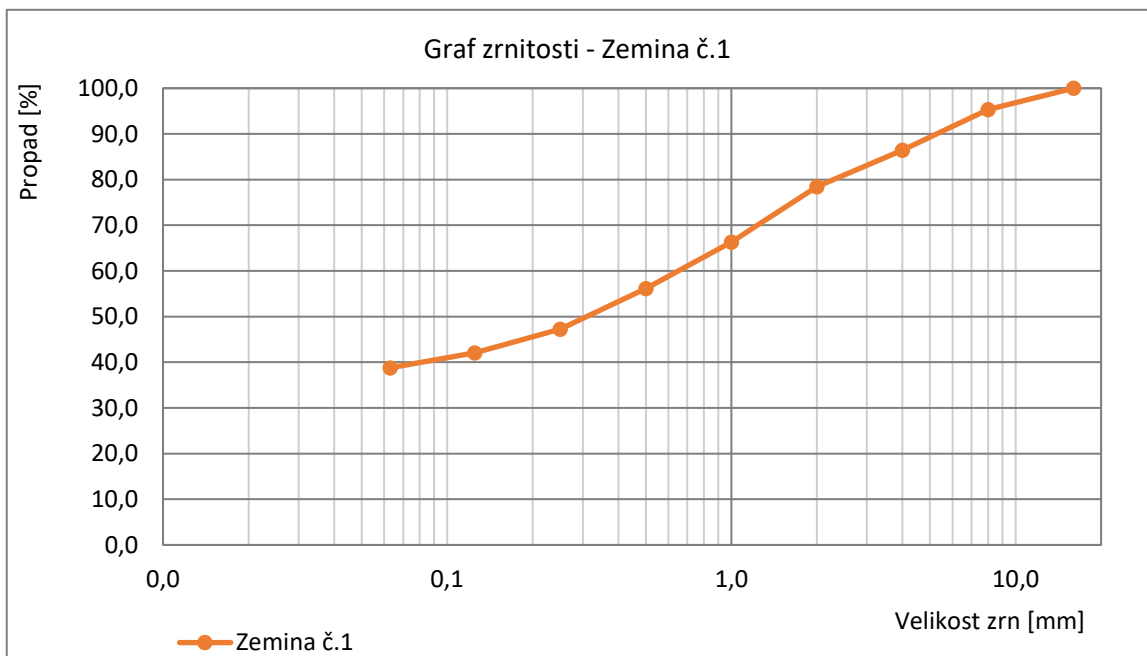
SEZNAM PŘÍLOH

| | | |
|-------------|---|-------------------|
| Příloha 1: | Stanovení zrnitosti..... | Protokol č. 1-3: |
| Příloha 2: | Stanovení konzistenčních mezí..... | Protokol č. 4-6 |
| Příloha 3: | Proctorova zkouška..... | Protokol č. 7-14 |
| Příloha 4: | Výroba zkušebních těles pomocí Proctorova zařízení..... | Protokol č. 15 |
| Příloha 5: | Okamžitý index únosnosti IBI..... | Protokol č. 16-21 |
| Příloha 6: | Kalifornský poměr únosnosti CBR----- | Protokol č. 22-27 |
| Příloha 7: | Lineární bobtnání..... | Protokol č. 28 |
| Příloha 7: | Stanovení pevnosti v tlaku..... | Protokol č. 29-34 |
| Příloha 8: | Stanovení míry namrzavosti – Scheiblovo kritérium..... | Protokol č. 35 |
| Příloha 9: | Stanovení míry namrzavosti..... | Protokol č. 36-41 |
| Příloha 10: | Zkouška methylenovou modří..... | Protokol č. 42 |

PŘÍLOHY

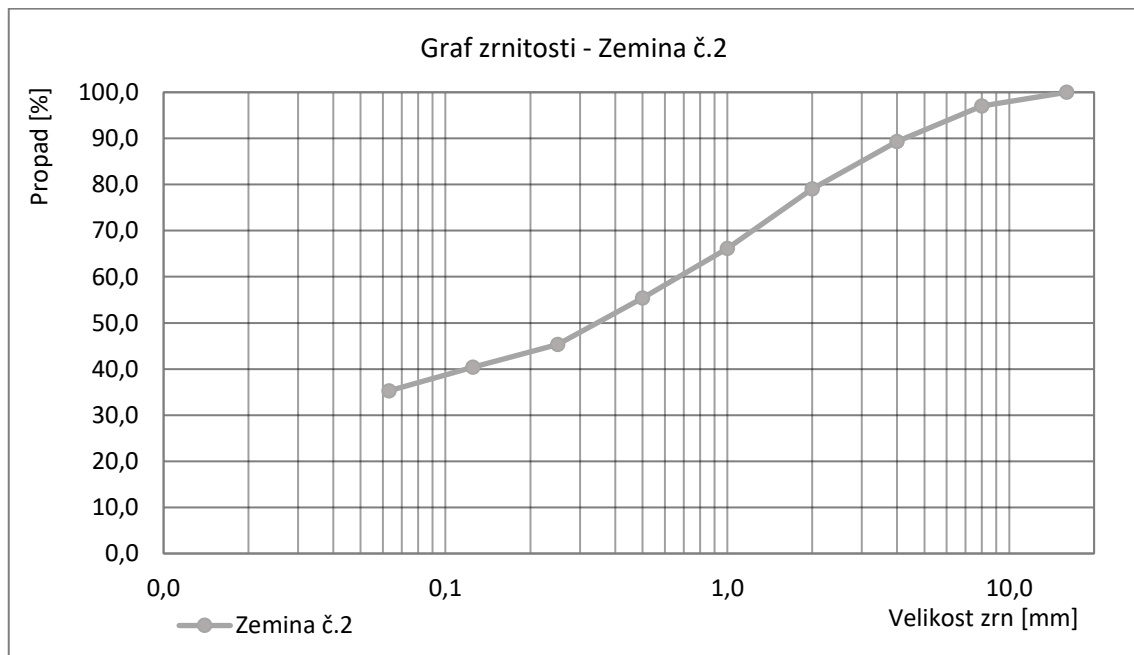
Stanovení zrnitosti zemin ČSN CEN ISO/TS 17892-4

| Z1 – Zemina č. 1 | | | | | |
|------------------------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------------|---|---|
| celková hmotnost navážky M_i [g] | | | | 296,5 | |
| Velikost otvorů síta | Hmotnost síta | Hmotnost síta + zůstatku na sítu | Hmotnost zůstatku na sítu R_i | Procento zůstatku na sítu $100 \cdot R_i / M_i$ | Souhrnné procento propadu $100 - (100 \cdot R_i / M_i)$ |
| [mm] | [g] | [g] | [g] | [%] | [%] |
| 16,0 | - | - | - | - | 100,0 |
| 8,0 | 649,1 | 662,9 | 13,8 | 4,7 | 95,3 |
| 4,0 | 579,4 | 605,9 | 26,5 | 8,9 | 86,4 |
| 2,0 | 596,3 | 620,0 | 23,7 | 8,0 | 78,4 |
| 1,0 | 563,7 | 599,5 | 35,8 | 12,1 | 66,3 |
| 0,5 | 501,0 | 531,3 | 30,3 | 10,2 | 56,1 |
| 0,250 | 531,8 | 558,1 | 26,3 | 8,9 | 47,3 |
| 0,125 | 449,3 | 464,6 | 15,3 | 5,2 | 42,1 |
| 0,063 | 469,1 | 478,9 | 9,8 | 3,3 | 38,8 |
| 0,00 | - | - | 115,0 | 38,8 | 0,0 |
| Suma: | | | 296,5 | 100,0 | |



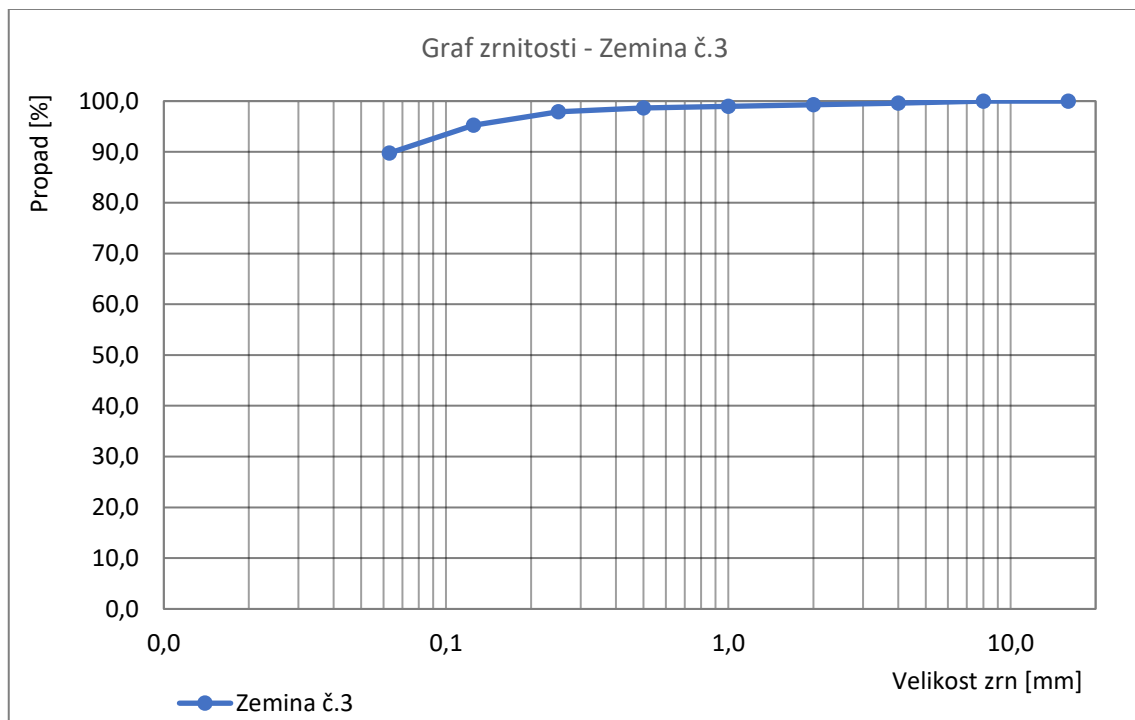
Stanovení zrnitosti zemin ČSN CEN ISO/TS 17892-4

| Z2 – Zemina č. 2 | | | | | |
|------------------------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------------|---|---|
| celková hmotnost navážky M_i [g] | | | | 308,5 | |
| Velikost otvorů síta | Hmotnost síta | Hmotnost síta + zůstatku na sítu | Hmotnost zůstatku na sítu R_i | Procento zůstatku na sítu $100 \cdot R_i / M_i$ | Souhrnné procento propadu $100 - (100 \cdot R_i / M_i)$ |
| [mm] | [g] | [g] | [g] | [%] | [%] |
| 16,0 | - | - | - | - | 100,0 |
| 8,0 | 649,1 | 658,3 | 9,2 | 3,0 | 97,0 |
| 4,0 | 579,4 | 603,1 | 23,7 | 7,7 | 89,3 |
| 2,0 | 596,3 | 628,0 | 31,7 | 10,3 | 79,1 |
| 1,0 | 563,7 | 603,6 | 39,9 | 12,9 | 66,1 |
| 0,5 | 501,0 | 534,1 | 33,1 | 10,7 | 55,4 |
| 0,250 | 531,8 | 562,8 | 31,0 | 10,0 | 45,3 |
| 0,125 | 449,3 | 464,5 | 15,2 | 4,9 | 40,4 |
| 0,063 | 469,1 | 485,0 | 15,9 | 5,2 | 35,3 |
| 0,00 | - | - | 108,8 | 35,3 | 0,0 |
| Suma: | | | 308,5 | 100,0 | |



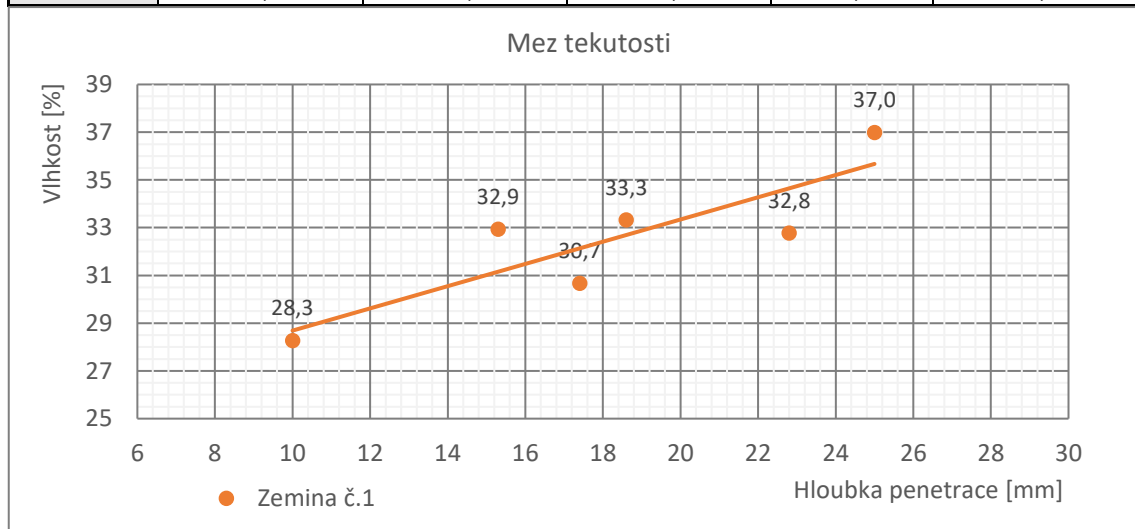
Stanovení zrnitosti zemin ČSN CEN ISO/TS 17892-4

| Z3 – Zemina č. 3 | | | | | |
|------------------------------------|----------------------|--|---|---|---|
| celková hmotnost navážky M_i [g] | | | | 249,1 | |
| Velikost otvorů síta [mm] | Hmotnost síta [g] | Hmotnost síta + zůstatku na sítu [g] | Hmotnost zůstatku na sítu R_i [g] | Procento zůstatku na sítu $100 \cdot R_i / M_i$ [%] | Souhrnné procento propadu $100 - (100 \cdot R_i / M_i)$ [%] |
| 16,0 | - | - | - | - | 100,0 |
| 8,0 | - | - | - | - | 100,0 |
| 4,0 | 580,0 | 581,0 | 1,0 | 0,4 | 99,6 |
| 2,0 | 596,3 | 597,1 | 0,8 | 0,3 | 99,3 |
| 1,0 | 563,7 | 564,5 | 0,8 | 0,3 | 99,0 |
| 0,5 | 501,0 | 501,8 | 0,8 | 0,3 | 98,6 |
| 0,250 | 531,8 | 533,6 | 1,8 | 0,7 | 97,9 |
| 0,125 | 449,3 | 456,0 | 6,7 | 2,7 | 95,2 |
| 0,063 | 469,1 | 482,7 | 13,6 | 5,5 | 89,8 |
| 0,00 | - | - | 223,6 | 89,8 | 0,0 |
| Suma: | | | 249,1 | 100,0 | |



Stanovení konzistenčních mezí ČSN CEN ISO/TS 17892-12

| MEZ TEKUTOSTI | | | | | |
|------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|
| Z1 – Zemina č. 1 | | | | | |
| Vzorek | Hmotnost nádoby | Hmotnost nádoby s vlhkou směsí | Hmotnost nádoby se suchou směsí | Vlhkost vzorku | Hloubka penetrace |
| n | m_n [g] | m_w [g] | m_d [g] | w [%] | p [mm] |
| 1 | 22,1 | 40,7 | 36,6 | 28,3 | 10,0 |
| 2 | 28,6 | 48,2 | 43,6 | 30,7 | 17,4 |
| 3 | 25,6 | 41,4 | 37,5 | 32,8 | 22,8 |
| 4 | 30,3 | 64,6 | 56,1 | 32,9 | 15,3 |
| 5 | 19,5 | 37,1 | 32,7 | 33,3 | 18,6 |
| 6 | 22,8 | 46,5 | 40,1 | 37,0 | 25,0 |



| MEZ PLASTICITY | | | | | |
|------------------|-----------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Z1 - Zemina č. 1 | | | | | |
| Vzorek | Nádoba | Nádoba s vlhkou směsí | Nádoba se suchou směsí | Vlhkost dílčích vzorků | Průměrná vlhkost vzorků |
| n | m_n [g] | m_w [g] | m_d [g] | w [%] | W_p [%] |
| 1 | 33,3 | 40,3 | 39,1 | 20,7 | 20,4 |
| 2 | 38,7 | 46,4 | 45,1 | 20,3 | |
| 3 | 45,0 | 53,9 | 52,4 | 20,3 | |
| 4 | 51,2 | 59,5 | 58,1 | 20,3 | |

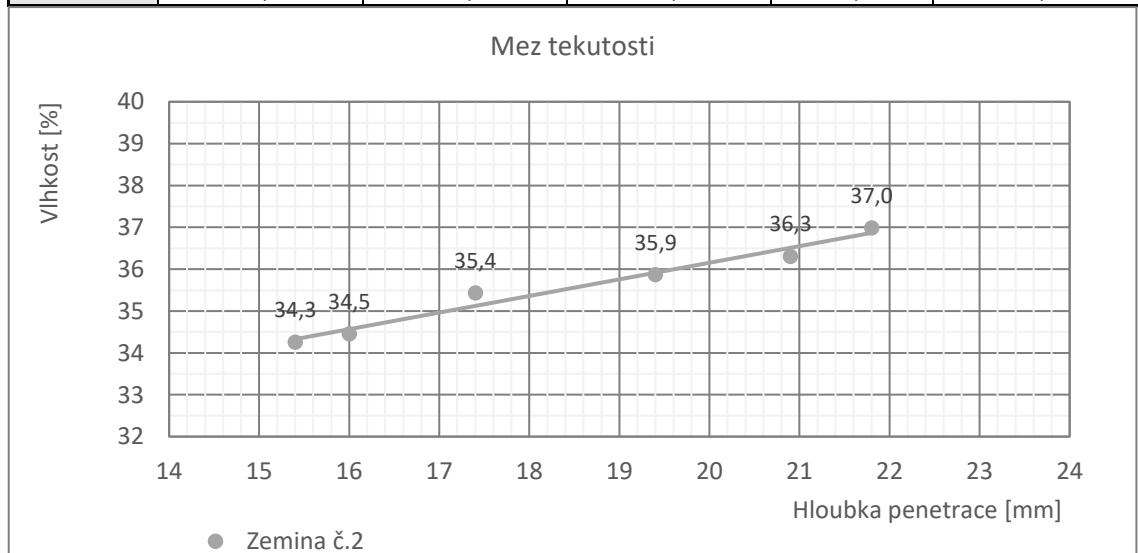
Mez tekutosti w_L
33,5 %

Mez plasticity w_P
20,4 %

Index plasticity I_P
13,1 %

Stanovení konzistenčních mezí ČSN CEN ISO/TS 17892-12

| MEZ TEKUTOSTI | | | | | |
|------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|
| Z2 – Zemina č. 2 | | | | | |
| Vzorek | Hmotnost nádoby | Hmotnost nádoby s vlhkou směsí | Hmotnost nádoby se suchou směsí | Vlhkost vzorku | Hloubka penetrace |
| n | m_n [g] | m_w [g] | m_d [g] | w [%] | p [mm] |
| 1 | 21,9 | 36,4 | 32,7 | 34,3 | 15,4 |
| 2 | 22,7 | 42,6 | 37,5 | 34,5 | 16,0 |
| 3 | 25,6 | 42,8 | 38,3 | 35,4 | 17,4 |
| 4 | 28,5 | 41,0 | 37,7 | 35,9 | 19,4 |
| 5 | 19,4 | 40,8 | 35,1 | 36,3 | 20,9 |
| 6 | 28,9 | 48,9 | 43,5 | 37,0 | 21,8 |



| MEZ PLASTICITY | | | | | |
|-----------------|-----------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Z2 - Zemina č.2 | | | | | |
| Vzorek | Nádoba | Nádoba s vlhkou směsí | Nádoba se suchou směsí | Vlhkost dílčích vzorků | Průměrná vlhkost vzorků |
| n | m_n [g] | m_w [g] | m_d [g] | w [%] | W_p [%] |
| 1 | 47,5 | 56,0 | 54,3 | 25,0 | 25,8 |
| 2 | 51,2 | 60,4 | 58,6 | 24,3 | |
| 3 | 36,0 | 42,7 | 41,3 | 26,4 | |
| 4 | 35,8 | 42,3 | 40,9 | 27,5 | |

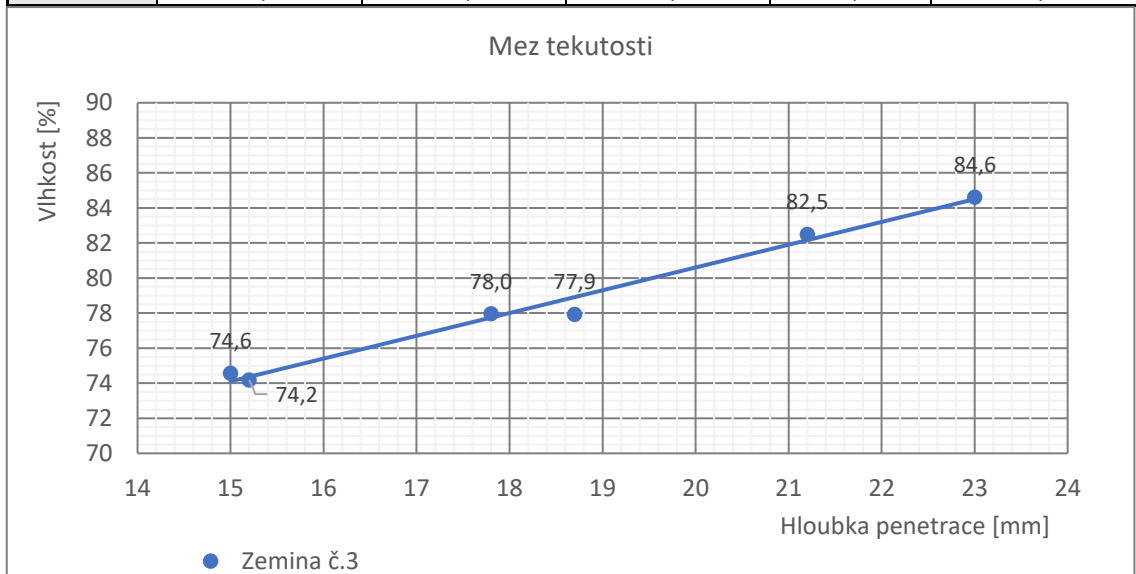
Mez tekutosti w_L
36,2 %

Mez plasticity w_P
25,8 %

Index plasticity I_P
10,4 %

Stanovení konzistenčních mezí ČSN CEN ISO/TS 17892-12

| MEZ TEKUTOSTI | | | | | |
|------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|
| Z3 – Zemina č. 3 | | | | | |
| Vzorek | Hmotnost nádoby | Hmotnost nádoby s vlhkou směsí | Hmotnost nádoby se suchou směsí | Vlhkost vzorku | Hloubka penetrace |
| n | m_n [g] | m_w [g] | m_d [g] | w [%] | p [mm] |
| 1 | 16,8 | 24,1 | 20,8 | 82,5 | 21,2 |
| 2 | 17,3 | 27,6 | 23,2 | 74,6 | 15,0 |
| 3 | 15,1 | 25,9 | 21,3 | 74,2 | 15,2 |
| 4 | 17,7 | 28,2 | 23,6 | 78,0 | 17,8 |
| 5 | 18,7 | 28,3 | 23,9 | 84,6 | 23,0 |
| 6 | 16,6 | 28,7 | 23,4 | 77,9 | 18,7 |



| MEZ PLASTICITY | | | | | |
|-----------------|-----------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Z3 – Zemina č.3 | | | | | |
| Vzorek | Nádoba | Nádoba s vlhkou směsí | Nádoba se suchou směsí | Vlhkost dílčích vzorků | Průměrná vlhkost vzorků |
| n | m_n [g] | m_w [g] | m_d [g] | w [%] | W_p [%] |
| 1 | 31,4 | 35,7 | 34,9 | 22,9 | 23,1 |
| 2 | 39,6 | 43,9 | 43,1 | 22,9 | |
| 3 | 51,2 | 55,3 | 54,5 | 24,2 | |
| 4 | 45,0 | 52,6 | 51,2 | 22,6 | |

Mez tekutosti w_L
80,5 %

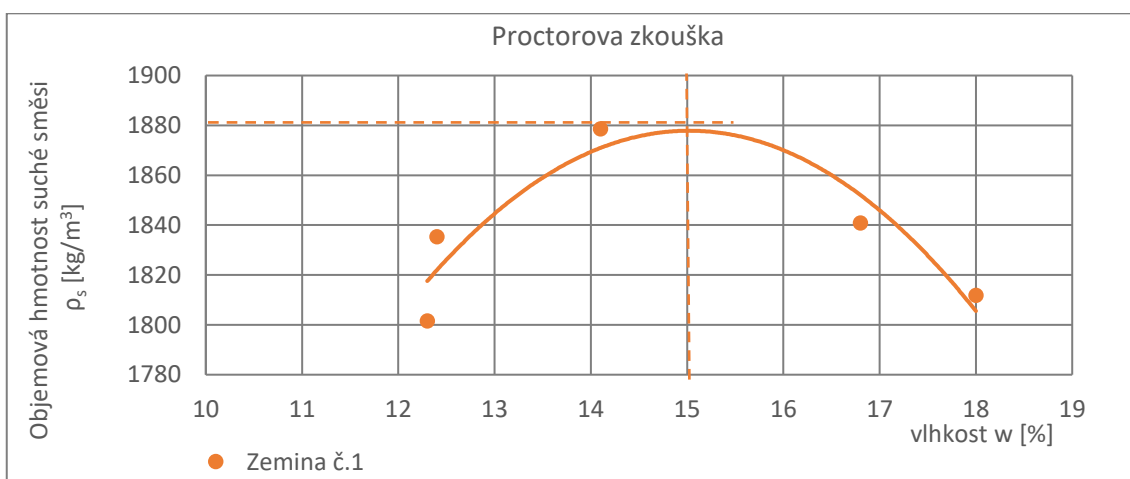
Mez plasticity w_P
23,1 %

Index plasticity I_P
57,4 %

Proctorova zkouška ČSN EN 13286-2

| Z1 – Zemina č. 1 | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Hmotnost formy $m_1 = 3961,7 \text{ g}$ | | | Objem formy $V = 942,5 \text{ cm}^3$ | | |
| Vzorek | Hmotnost formy se směsí | Hmotnost vlhkého vzorku | Vlhkost zhutněné směsi | Objemová hmotnost vlhké směsi | Objemová hmotnost suché směsi |
| n | $m_2 \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | w [%] | $\rho_w \text{ [kg/m}^3\text{]}$ | $\rho_s \text{ [kg/m}^3\text{]}$ |
| 1 | 5868,5 | 1906,8 | 12,3 | 2023,1 | 1801,5 |
| 2 | 5906,0 | 1944,3 | 12,4 | 2062,9 | 1835,3 |
| 3 | 5981,9 | 2020,2 | 14,1 | 2143,4 | 1878,6 |
| 4 | 5988,1 | 2026,4 | 16,8 | 2150,0 | 1840,8 |
| 5 | 5976,7 | 2015,0 | 18,0 | 2137,9 | 1811,8 |

| Z1 – Zemina č. 1 | | | | | | | |
|------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|--|--|---------------------------|----------------|
| Vzorek | Nádoba | Nádoba s vlhkou směsí | Nádoba se suchou směsí | Hmotnost vlhké směsi $m_1 = m_w - m_n$ | Hmotnost suché směsi $m_2 = m_d - m_n$ | Vlhkost zhutněného vzorku | Vlhkost průměr |
| n | $m_n \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | $m_d \text{ [g]}$ | $m_1 \text{ [g]}$ | $m_2 \text{ [g]}$ | w [%] | w [%] |
| 1 | 28,3 | 73,0 | 68,1 | 44,7 | 39,8 | 12,3 | 12,3 |
| 2 | - | - | - | - | - | - | |
| 3 | 29,0 | 71,7 | 67,0 | 42,7 | 38,0 | 12,4 | 12,4 |
| 4 | - | - | - | - | - | - | |
| 5 | 29,2 | 76,1 | 70,3 | 46,9 | 41,1 | 14,1 | 14,1 |
| 6 | - | - | - | - | - | - | |
| 7 | 29,4 | 72,4 | 66,2 | 43,0 | 36,8 | 16,8 | 16,8 |
| 8 | - | - | - | - | - | - | |
| 9 | 29,4 | 76,0 | 68,9 | 46,6 | 39,5 | 18,0 | 18,0 |
| 10 | - | - | - | - | - | - | |

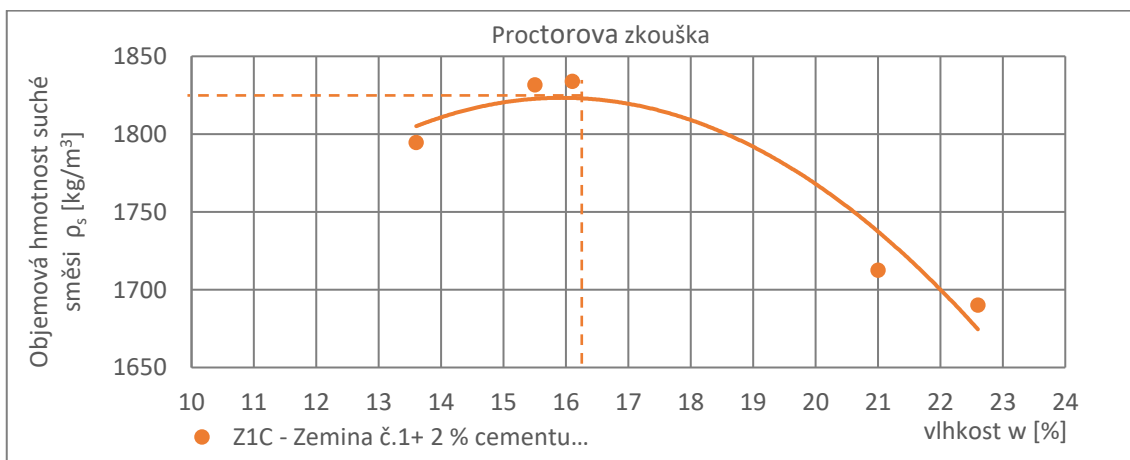


| | |
|--|------------------------------|
| Optimální vlhkost w_{opt} | 15 % |
| Maximální objemová hmotnost ρ_{max} | 1880 kg/m³ |

Proctorova zkouška ČSN EN 13286-2

| Z1C – Zemina č. 1 + 2 % cementu | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Hmotnost formy $m_1 = 3961,7 \text{ g}$ | | | Objem formy $V = 942,5 \text{ cm}^3$ | | |
| Vzorek | Hmotnost formy se směsí | Hmotnost vlhkého vzorku | Vlhkost ztuhlé směsi | Objemová hmotnost vlhké směsi | Objemová hmotnost suché směsi |
| n | $m_z \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | w [%] | $\rho_w \text{ [kg/m}^3\text{]}$ | $\rho_s \text{ [kg/m}^3\text{]}$ |
| 1 | 5883,3 | 1921,6 | 13,6 | 2038,8 | 1794,7 |
| 2 | 5955,6 | 1993,9 | 15,5 | 2115,5 | 1831,6 |
| 3 | 5968,4 | 2006,7 | 16,1 | 2129,1 | 1833,9 |
| 4 | 5914,8 | 1953,1 | 21,0 | 2072,3 | 1712,6 |
| 5 | 5914,6 | 1952,9 | 22,6 | 2072,0 | 1690,1 |

| Z1C – Zemina č.1 + 2 % cementu | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|--|--|-------------------------|----------------|
| Vzorek | Nádoba | Nádoba s vlhkou směsí | Nádoba se suchou směsí | Hmotnost vlhké směsi $m_1 = m_w - m_n$ | Hmotnost suché směsi $m_2 = m_d - m_n$ | Vlhkost ztuhlého vzorku | Vlhkost průměr |
| | $m_n \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | $m_d \text{ [g]}$ | $m_1 \text{ [g]}$ | $m_2 \text{ [g]}$ | w [%] | w [%] |
| 1 | 16,9 | 53,7 | 49,3 | 36,8 | 32,4 | 13,6 | 13,6 |
| 2 | - | - | - | - | - | - | |
| 3 | 18,7 | 51,5 | 47,1 | 32,8 | 28,4 | 15,5 | 15,5 |
| 4 | - | - | - | - | - | - | |
| 5 | 16,6 | 52,0 | 47,1 | 35,4 | 30,5 | 16,1 | 16,1 |
| 6 | - | - | - | - | - | - | |
| 7 | 16,6 | 55,2 | 48,5 | 38,6 | 31,9 | 21,0 | 21,0 |
| 8 | - | - | - | - | - | - | |
| 9 | 15,0 | 53,5 | 46,4 | 38,5 | 31,4 | 22,6 | 22,6 |
| 10 | - | - | - | - | - | - | |

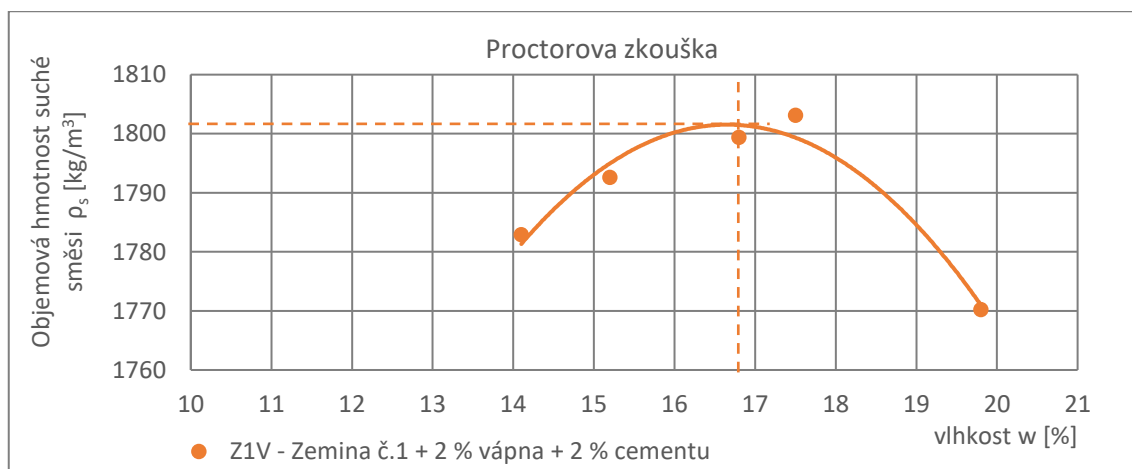


| | |
|--|------------------------------|
| Optimální vlhkost w_{opt} | 16 % |
| Maximální objemová hmotnost ρ_{max} | 1820 kg/m³ |

Proctorova zkouška ČSN EN 13286-2

| Z1V – Zemina č. 1 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Hmotnost formy $m_1 = 3961,7 \text{ g}$ | | | Objem formy $V = 942,5 \text{ cm}^3$ | | |
| Vzorek | Hmotnost formy se směsí | Hmotnost vlhkého vzorku | Vlhkost zhutněné směsi | Objemová hmotnost vlhké směsi | Objemová hmotnost suché směsi |
| n | $m_z \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | w [%] | $\rho_w \text{ [kg/m}^3\text{]}$ | $\rho_s \text{ [kg/m}^3\text{]}$ |
| 1 | 5879,0 | 1917,3 | 14,1 | 2034,3 | 1782,9 |
| 2 | 5908,0 | 1946,3 | 15,2 | 2065,0 | 1792,6 |
| 3 | 5942,5 | 1980,8 | 16,8 | 2101,6 | 1799,4 |
| 4 | 5958,5 | 1996,8 | 17,5 | 2118,6 | 1803,1 |
| 5 | 5960,5 | 1998,8 | 19,8 | 2120,7 | 1770,2 |

| Z1V – Zemina č. 1 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | | | | | |
|---|-------------------|-----------------------|------------------------|--|--|---------------------------|----------------|
| Vzorek | Nádoba | Nádoba s vlhkou směsí | Nádoba se suchou směsí | Hmotnost vlhké směsi $m_1 = m_w - m_n$ | Hmotnost suché směsi $m_2 = m_d - m_n$ | Vlhkost zhutněného vzorku | Vlhkost průměr |
| | $m_n \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | $m_d \text{ [g]}$ | $m_1 \text{ [g]}$ | $m_2 \text{ [g]}$ | w [%] | w [%] |
| 1 | 17,6 | 43,9 | 40,7 | 26,3 | 23,1 | 13,9 | 14,1 |
| 2 | 18,5 | 40,1 | 37,4 | 21,6 | 18,9 | 14,3 | |
| 3 | 16,7 | 49,8 | 45,4 | 33,1 | 28,7 | 15,3 | 15,2 |
| 4 | 16,6 | 45,6 | 41,8 | 29,0 | 25,2 | 15,1 | |
| 5 | 18,7 | 50,1 | 45,6 | 31,4 | 26,9 | 16,7 | 16,8 |
| 6 | 18,8 | 49,4 | 45,0 | 30,6 | 26,2 | 16,8 | |
| 7 | 29,4 | 60,2 | 55,7 | 30,8 | 26,3 | 17,1 | 17,5 |
| 8 | 30,3 | 69,1 | 63,2 | 38,8 | 32,9 | 17,9 | |
| 9 | 29,0 | 57,4 | 52,7 | 28,4 | 23,7 | 19,8 | 19,8 |
| 10 | 28,4 | 60,0 | 54,8 | 31,6 | 26,4 | 19,7 | |

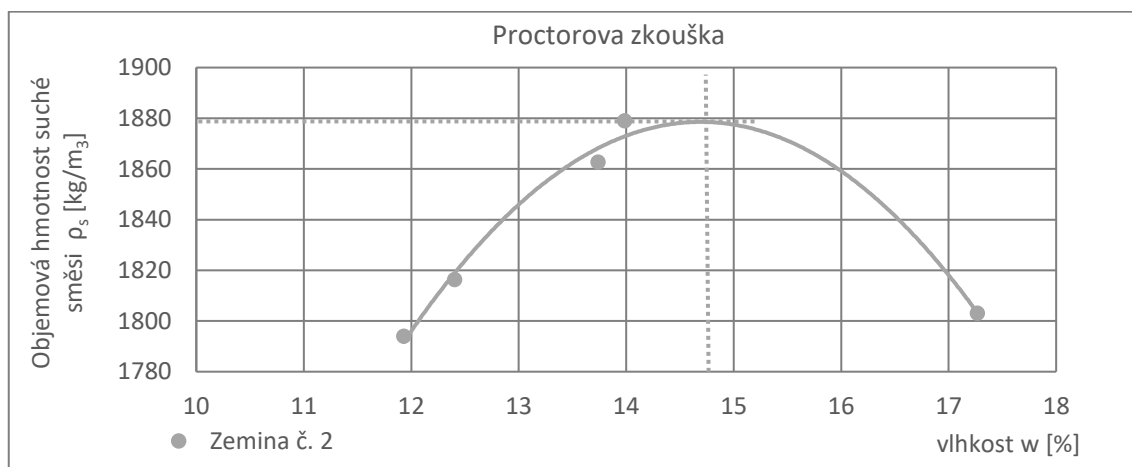


| | |
|--|-------------------|
| Optimální vlhkost w_{opt} | 17 % |
| Maximální objemová hmotnost ρ_{max} | 1800 kg/m³ |

Proctorova zkouška ČSN EN 13286-2

| Z2 – Zemina č. 2 | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Hmotnost formy $m_1 = 3961,7 \text{ g}$ | | | Objem formy $V = 942,5 \text{ cm}^3$ | | |
| Vzorek | Hmotnost formy se směsí | Hmotnost vlhkého vzorku | Vlhkost zhutněné směsi | Objemová hmotnost vlhké směsi | Objemová hmotnost suché směsi |
| n | $m_2 \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | w [%] | $\rho_w \text{ [kg/m}^3\text{]}$ | $\rho_s \text{ [kg/m}^3\text{]}$ |
| 1 | 5854,2 | 1892,5 | 11,9 | 2008,0 | 1794,0 |
| 2 | 5885,9 | 1924,2 | 12,4 | 2041,6 | 1816,3 |
| 3 | 5958,4 | 1996,7 | 13,7 | 2118,5 | 1862,6 |
| 4 | 5980,3 | 2018,6 | 14,0 | 2141,8 | 1879,0 |
| 5 | 5954,5 | 1992,8 | 17,3 | 2114,4 | 1803,1 |

| Z2 – Zemina č. 2 | | | | | | | |
|------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|--|--|---------------------------|----------------|
| Vzorek | Nádoba | Nádoba s vlhkou směsí | Nádoba se suchou směsí | Hmotnost vlhké směsi $m_1 = m_w - m_n$ | Hmotnost suché směsi $m_2 = m_d - m_n$ | Vlhkost zhutněného vzorku | Vlhkost průměr |
| | $m_n \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | $m_d \text{ [g]}$ | $m_1 \text{ [g]}$ | $m_2 \text{ [g]}$ | w [%] | w [%] |
| 1 | 30,3 | 74,4 | 69,7 | 44,1 | 39,4 | 11,9 | 11,9 |
| 2 | - | - | - | - | - | - | |
| 3 | 17,4 | 37,8 | 35,7 | 20,4 | 18,3 | 11,5 | 12,4 |
| 4 | 18,5 | 40,6 | 38,0 | 22,1 | 19,5 | 13,3 | |
| 5 | 29,9 | 65,5 | 61,2 | 35,6 | 31,3 | 13,7 | 13,7 |
| 6 | - | - | - | - | - | - | |
| 7 | 29,8 | 73,0 | 67,7 | 43,2 | 37,9 | 14,0 | 14,0 |
| 8 | - | - | - | - | - | - | |
| 9 | 28,9 | 77,8 | 70,6 | 48,9 | 41,7 | 17,3 | 17,3 |
| 10 | - | - | - | - | - | - | |

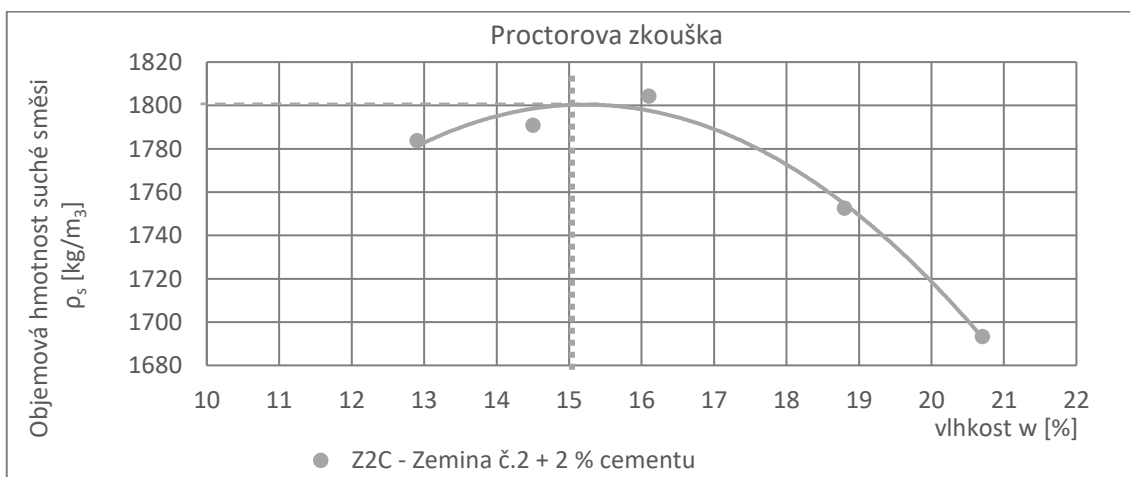


| | |
|--|--|
| Optimální vlhkost w_{opt} | 15 % |
| Maximální objemová hmotnost ρ_{max} | 1880 kg/m^3 |

Proctorova zkouška ČSN EN 13286-2

| Z2C – Zemina č. 2 + 2 % cementu | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Hmotnost formy $m_1 = 3961,7 \text{ g}$ | | | Objem formy $V = 942,5 \text{ cm}^3$ | | |
| Vzorek | Hmotnost formy se směsí | Hmotnost vlhkého vzorku | Vlhkost zhutněné směsi | Objemová hmotnost vlhké směsi | Objemová hmotnost suché směsi |
| n | $m_z \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | w [%] | $\rho_w \text{ [kg/m}^3\text{]}$ | $\rho_s \text{ [kg/m}^3\text{]}$ |
| 1 | 5859,8 | 1898,1 | 12,9 | 2013,9 | 1783,8 |
| 2 | 5894,4 | 1932,7 | 14,5 | 2050,6 | 1790,9 |
| 3 | 5936,0 | 1974,3 | 16,1 | 2094,7 | 1804,3 |
| 4 | 5924,0 | 1962,3 | 18,8 | 2082,0 | 1752,5 |
| 5 | 5888,0 | 1926,3 | 20,7 | 2043,8 | 1693,3 |

| Z2C – Zemina č. 2 + 2 % cementu | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|--|--|---------------------------|----------------|
| Vzorek | Nádoba | Nádoba s vlhkou směsí | Nádoba se suchou směsí | Hmotnost vlhké směsi $m_1 = m_w - m_n$ | Hmotnost suché směsi $m_2 = m_d - m_n$ | Vlhkost zhutněného vzorku | Vlhkost průměr |
| | $m_n \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | $m_d \text{ [g]}$ | $m_1 \text{ [g]}$ | $m_2 \text{ [g]}$ | w [%] | w [%] |
| 1 | 18,7 | 54,7 | 50,6 | 36 | 31,9 | 12,9 | 12,9 |
| 2 | - | - | - | - | - | - | |
| 3 | 18,9 | 52,1 | 47,9 | 33,2 | 29 | 14,5 | 14,5 |
| 4 | - | - | - | - | - | - | |
| 5 | 16,8 | 53,6 | 48,5 | 36,8 | 31,7 | 16,1 | 16,1 |
| 6 | - | - | - | - | - | - | |
| 7 | 17,7 | 54,4 | 48,6 | 36,7 | 30,9 | 18,8 | 18,8 |
| 8 | - | - | - | - | - | - | |
| 9 | 18,7 | 51,3 | 45,7 | 32,6 | 27 | 20,7 | 20,7 |
| 10 | - | - | - | - | - | - | |



| | |
|--|------------------------------|
| Optimální vlhkost w_{opt} | 15 % |
| Maximální objemová hmotnost ρ_{max} | 1800 kg/m³ |

Proctorova zkouška ČSN EN 13286-2

| Z2V – Zemina č. 2 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Hmotnost formy $m_1 = 3961,7 \text{ g}$ | | | Objem formy $V = 942,5 \text{ cm}^3$ | | |
| Vzorek | Hmotnost formy se směsí | Hmotnost vlhkého vzorku | Vlhkost zhutněné směsi | Objemová hmotnost vlhké směsi | Objemová hmotnost suché směsi |
| n | $m_2 \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | w [%] | $\rho_w \text{ [kg/m}^3\text{]}$ | $\rho_s \text{ [kg/m}^3\text{]}$ |
| 1 | 5 834,6 | 1 872,9 | 12,6 | 1 987,2 | 1 764,8 |
| 2 | 5 880,0 | 1 918,3 | 14,0 | 2 035,3 | 1 785,4 |
| 3 | 5 910,1 | 1 948,4 | 15,3 | 2 067,3 | 1 792,9 |
| 4 | 5 933,3 | 1 971,6 | 17,4 | 2 091,9 | 1 781,8 |
| 5 | 5 935,5 | 1 973,8 | 18,8 | 2 094,2 | 1 762,8 |

| Z2V – Zemina č. 2 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | | | | | |
|---|-------------------|-----------------------|------------------------|--|--|---------------------------|----------------|
| Vzorek | Nádoba | Nádoba s vlhkou směsí | Nádoba se suchou směsí | Hmotnost vlhké směsi $m_1 = m_w - m_n$ | Hmotnost suché směsi $m_2 = m_d - m_n$ | Vlhkost zhutněného vzorku | Vlhkost průměr |
| | $m_n \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | $m_d \text{ [g]}$ | $m_1 \text{ [g]}$ | $m_2 \text{ [g]}$ | w [%] | w [%] |
| 1 | 16,5 | 44,4 | 41,1 | 27,9 | 24,6 | 13,4 | 12,6 |
| 2 | 16,8 | 50,0 | 46,5 | 33,2 | 29,7 | 11,8 | |
| 3 | 16,3 | 46,8 | 43,0 | 30,5 | 26,7 | 14,2 | 14,0 |
| 4 | 17,2 | 52,1 | 47,9 | 34,9 | 30,7 | 13,7 | |
| 5 | 15,0 | 46,2 | 42,0 | 31,2 | 27,0 | 15,6 | 15,3 |
| 6 | 17,7 | 50,0 | 45,8 | 32,3 | 28,1 | 14,9 | |
| 7 | 18,9 | 45,9 | 41,8 | 27,0 | 22,9 | 17,9 | 17,4 |
| 8 | 16,5 | 47,6 | 43,1 | 31,1 | 26,6 | 16,9 | |
| 9 | 16,5 | 42,7 | 38,5 | 26,2 | 22,0 | 19,1 | 18,8 |
| 10 | 18,6 | 41,0 | 37,5 | 22,4 | 18,9 | 18,5 | |

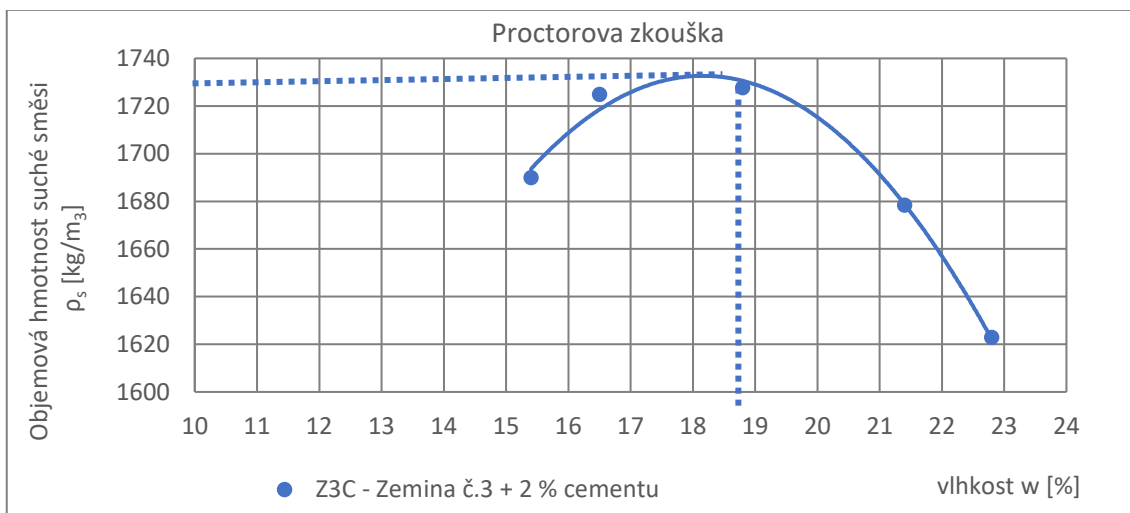


| | |
|--|------------------------------|
| Optimální vlhkost w_{opt} | 16 % |
| Maximální objemová hmotnost ρ_{max} | 1790 kg/m³ |

Proctorova zkouška ČSN EN 13286-2

| Z3C – Zemina č. 3 + 2 % cementu | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Hmotnost formy $m_1 = 3961,7 \text{ g}$ | | | Objem formy $V = 942,5 \text{ cm}^3$ | | |
| Vzorek | Hmotnost formy se směsí | Hmotnost vlhkého vzorku | Vlhkost zhutněné směsi | Objemová hmotnost vlhké směsi | Objemová hmotnost suché směsi |
| n | $m_2 \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | w [%] | $\rho_w \text{ [kg/m}^3\text{]}$ | $\rho_s \text{ [kg/m}^3\text{]}$ |
| 1 | 5800,0 | 1838,0 | 15,4 | 1950,1 | 1689,9 |
| 2 | 5855,6 | 1893,9 | 16,5 | 2009,4 | 1724,8 |
| 3 | 5896,1 | 1934,4 | 18,8 | 2052,4 | 1727,6 |
| 4 | 5882,1 | 1920,4 | 21,4 | 2037,6 | 1678,4 |
| 5 | 5840,0 | 1878,3 | 22,8 | 1992,9 | 1622,9 |

| Z3C – Zemina č. 3 + 2 % cementu | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|--|--|---------------------------|----------------|
| Vzorek | Nádoba | Nádoba s vlhkou směsí | Nádoba se suchou směsí | Hmotnost vlhké směsi $m_1 = m_w - m_n$ | Hmotnost suché směsi $m_2 = m_d - m_n$ | Vlhkost zhutněného vzorku | Vlhkost průměr |
| | $m_n \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | $m_d \text{ [g]}$ | $m_1 \text{ [g]}$ | $m_2 \text{ [g]}$ | w [%] | w [%] |
| 1 | 16,7 | 40,6 | 37,4 | 23,9 | 20,7 | 15,5 | 15,4 |
| 2 | 18,2 | 42,9 | 39,6 | 24,7 | 21,4 | 15,4 | |
| 3 | 16,5 | 40,3 | 37,1 | 23,8 | 20,6 | 15,5 | 16,5 |
| 4 | 18,5 | 46,2 | 42,1 | 27,7 | 23,6 | 17,4 | |
| 5 | 16,6 | 48,7 | 43,7 | 32,1 | 27,1 | 18,5 | 18,8 |
| 6 | 18,8 | 44,4 | 40,3 | 25,6 | 21,5 | 19,1 | |
| 7 | 15,0 | 37,5 | 33,5 | 22,5 | 18,5 | 21,6 | 21,4 |
| 8 | 18,8 | 40,5 | 36,7 | 21,7 | 17,9 | 21,2 | |
| 9 | 16,2 | 36,4 | 32,7 | 20,2 | 16,5 | 22,4 | 22,8 |
| 10 | 18,3 | 42,8 | 38,2 | 24,5 | 19,9 | 23,1 | |

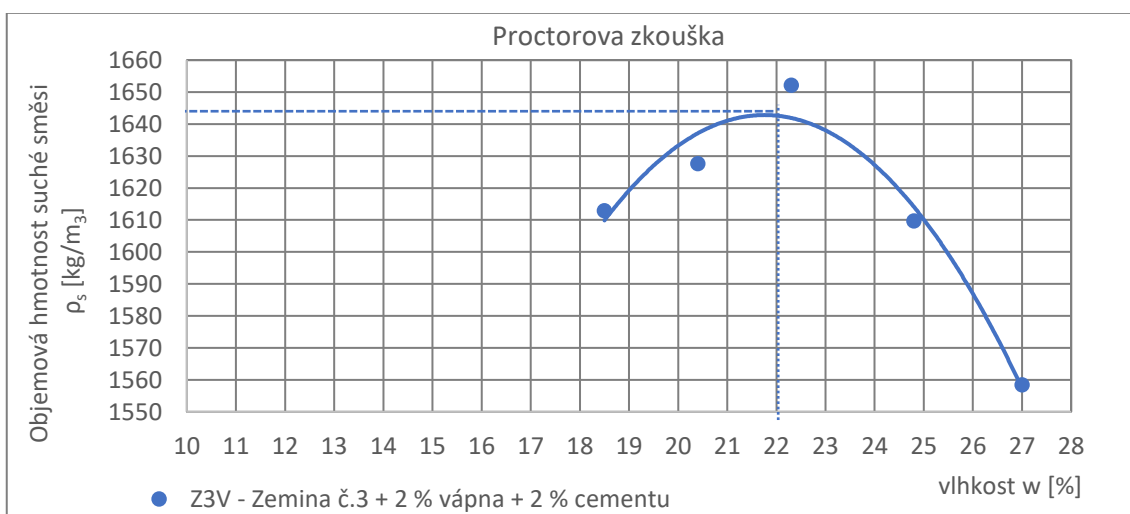


| | |
|--|------------------------------|
| Optimální vlhkost w_{opt} | 18 % |
| Maximální objemová hmotnost ρ_{max} | 1730 kg/m³ |

Proctorova zkouška ČSN EN 13286-2

| Z3V – Zemina č. 3 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Hmotnost formy $m_1 = 3961,7 \text{ g}$ | | | Objem formy $V = 942,5 \text{ cm}^3$ | | |
| Vzorek | Hmotnost formy se směsí | Hmotnost vlhkého vzorku | Vlhkost zhutněné směsi | Objemová hmotnost vlhké směsi | Objemová hmotnost suché směsi |
| n | $m_2 \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | w [%] | $\rho_w \text{ [kg/m}^3\text{]}$ | $\rho_s \text{ [kg/m}^3\text{]}$ |
| 1 | 5763,0 | 1801,3 | 18,5 | 1911,2 | 1612,8 |
| 2 | 5808,6 | 1846,9 | 20,4 | 1959,6 | 1627,6 |
| 3 | 5866,0 | 1904,3 | 22,3 | 2020,5 | 1652,1 |
| 4 | 5855,0 | 1893,3 | 24,9 | 2008,8 | 1609,6 |
| 5 | 5827,0 | 1865,3 | 27,0 | 1979,1 | 1558,3 |

| Z3V – Zemina č. 3 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | | | | | |
|---|-------------------|-----------------------|------------------------|--|--|---------------------------|----------------|
| Vzorek | Nádoba | Nádoba s vlhkou směsí | Nádoba se suchou směsí | Hmotnost vlhké směsi $m_1 = m_w - m_n$ | Hmotnost suché směsi $m_2 = m_d - m_n$ | Vlhkost zhutněného vzorku | Vlhkost průměr |
| | $m_n \text{ [g]}$ | $m_w \text{ [g]}$ | $m_d \text{ [g]}$ | $m_1 \text{ [g]}$ | $m_2 \text{ [g]}$ | w [%] | w [%] |
| 1 | 30,3 | 64,9 | 59,5 | 34,6 | 29,2 | 18,5 | 18,5 |
| 2 | 29,1 | 66,2 | 60,4 | 37,1 | 31,3 | 18,5 | |
| 3 | 28,9 | 68,6 | 61,7 | 39,7 | 32,8 | 21,0 | 20,4 |
| 4 | 28,2 | 57,4 | 52,6 | 29,2 | 24,4 | 19,7 | |
| 5 | 29,8 | 68,4 | 61,6 | 38,6 | 31,8 | 21,4 | 22,3 |
| 6 | 29,9 | 63,9 | 57,5 | 34 | 27,6 | 23,2 | |
| 7 | 18,9 | 47,5 | 41,8 | 27,0 | 22,9 | 17,9 | 24,9 |
| 8 | 16,5 | 49,7 | 43,1 | 31,1 | 26,6 | 16,9 | |
| 9 | 16,5 | 44,4 | 38,5 | 26,2 | 22,0 | 19,1 | 26,9 |
| 10 | 18,6 | 42,6 | 37,5 | 22,4 | 18,9 | 18,5 | |



| | |
|--|------------------------------|
| Optimální vlhkost w_{opt} | 22 % |
| Maximální objemová hmotnost ρ_{max} | 1640 kg/m³ |

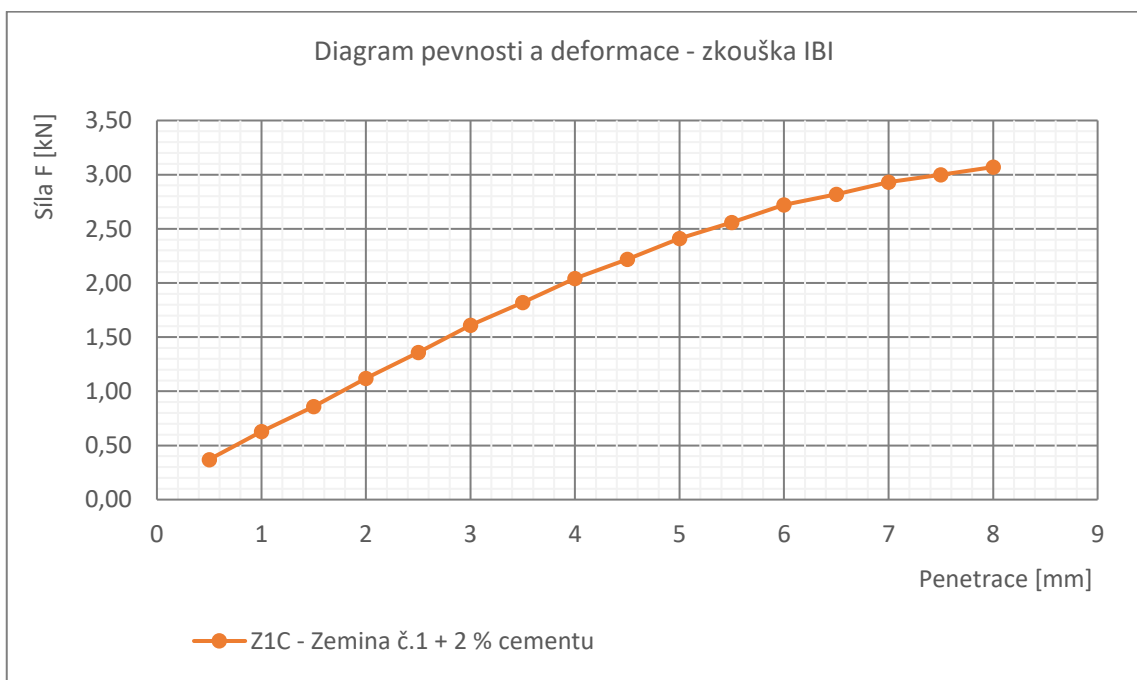
Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí Proctorova zařízení ČSN EN 13286-50

| Zemina | Pojivo | Ozn. směsi | Ozn. tělesa | Hmotnost tělesa [g] | Vlhkost [%] | Obj. hmotnost vlhké směsi | Obj. hmotnost suché směsi | Maximální objemová hmotnost |
|----------------------|-----------------------------------|------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Zemina č. 1 F4 CS | Cement 2 % | Z1C | 1C1 | 2011,5 | 16 | 2134,2 | 1839,8 | 1820 |
| | | | 1C2 | 2010,8 | | 2133,5 | 1839,2 | |
| | | | 1C3 | 2006,6 | | 2129,0 | 1835,4 | |
| | | | 1C4 | 2005,4 | | 2127,7 | 1834,3 | |
| | | | 1C5 | 2017,7 | | 2140,8 | 1845,5 | |
| | | | 1C6 | 2007,1 | | 2129,5 | 1835,8 | |
| | | | 1C7 | 2016,0 | | 2139,0 | 1844,0 | |
| | Vápno 2 % Cement 2 % | Z1V | 1V1 | 2004,6 | 17 | 2126,9 | 1817,9 | 1800 |
| | | | 1V2 | 1998,3 | | 2120,2 | 1812,1 | |
| | | | 1V3 | 1984,3 | | 2105,4 | 1799,5 | |
| | | | 1V4 | 1984,0 | | 2105,0 | 1799,2 | |
| | | | 1V5 | 2001,1 | | 2123,2 | 1814,7 | |
| | | | 1V6 | 2007,0 | | 2129,4 | 1820,0 | |
| | | | 1V7 | 1999,0 | | 2121,0 | 1812,8 | |
| Zemina č. 2 F3 MS | Cement 2 % | Z2C | 2C1 | 1976,5 | 15 | 2097,1 | 1823,5 | 1800 |
| | | | 2C2 | 1975,0 | | 2095,5 | 1822,2 | |
| | | | 2C3 | 1966,2 | | 2086,2 | 1814,0 | |
| | | | 2C4 | 1971,4 | | 2091,7 | 1818,8 | |
| | | | 2C5 | 1983,8 | | 2104,8 | 1830,3 | |
| | | | 2C6 | 1995,8 | | 2117,6 | 1841,4 | |
| | | | 2C7 | 1964,6 | | 2084,5 | 1812,6 | |
| | Vápno 2 % Cement 2 % | Z2V | 2V1 | 1964,6 | 16 | 2084,5 | 1796,9 | 1790 |
| | | | 2V2 | 1973,9 | | 2094,3 | 1805,5 | |
| | | | 2V3 | 1945,7 | | 2064,4 | 1779,7 | |
| | | | 2V4 | 1947,6 | | 2066,4 | 1781,4 | |
| | | | 2V5 | 1947,1 | | 2065,9 | 1780,9 | |
| | | | 2V6 | 1935,5 | | 2053,6 | 1770,3 | |
| | | | 2V7 | 1915,7 | | 2032,6 | 1752,2 | |
| Zemina č. 3 F8 CV | Cement 2 % | Z3C | 3C1 | 1922,5 | 18 | 2039,8 | 1728,6 | 1730 |
| | | | 3C2 | 1914,3 | | 2031,1 | 1721,3 | |
| | | | 3C3 | 1914,7 | | 2031,5 | 1721,6 | |
| | | | 3C4 | 1902,5 | | 2018,6 | 1710,7 | |
| | | | 3C5 | 1915,9 | | 2032,8 | 1722,7 | |
| | | | 3C6 | 1910,0 | | 2026,5 | 1717,4 | |
| | | | 3C7 | 1907,2 | | 2023,6 | 1714,9 | |
| | Vápno 2 % Cement 2 % | Z3V | 3V1 | 1907,7 | 22 | 2024,1 | 1659,1 | 1640 |
| | | | 3V2 | 1888,0 | | 2003,2 | 1642,0 | |
| | | | 3V3 | 1894,8 | | 2010,4 | 1647,9 | |
| | | | 3V4 | 1873,0 | | 1987,3 | 1628,9 | |
| | | | 3V5 | 1878,0 | | 1992,6 | 1633,3 | |
| | | | 3V6 | 1893,3 | | 2008,8 | 1646,6 | |
| | | | 3V7 | 1889,1 | | 2004,4 | 1642,9 | |

Okamžitý index únosnosti ČSN EN 13286-47

| Okamžitý index únosnosti – IBI | | | |
|---------------------------------|--------|---------------------|---------------------------------|
| Z1C – Zemina č. 1 + 2 % cementu | | | |
| Penetrace | Síla | Standardní síla | IBI (100/F _s)x F |
| [mm] | F [kN] | F _s [kN] | [%] |
| 0,5 | 0,37 | | |
| 1,0 | 0,63 | | |
| 1,5 | 0,86 | | |
| 2,0 | 1,12 | | |
| 2,5 | 1,36 | 13,20 | 10,30 |
| 3,0 | 1,61 | | |
| 3,5 | 1,82 | | |
| 4,0 | 2,04 | | |
| 4,5 | 2,22 | | |
| 5,0 | 2,41 | 20,00 | 12,05 |
| 5,5 | 2,56 | | |
| 6,0 | 2,72 | | |
| 6,5 | 2,82 | | |
| 7,0 | 2,93 | | |
| 7,5 | 3,00 | | |
| 8,0 | 3,07 | | |

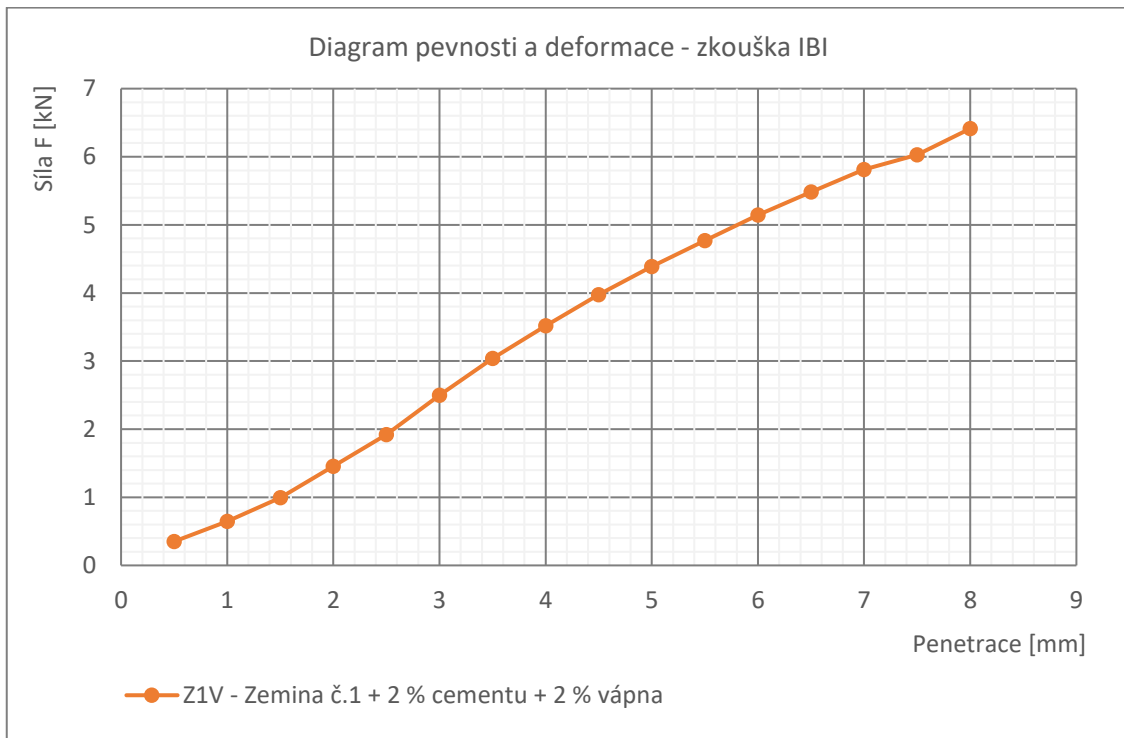
| | |
|-------------------------------------|-------------|
| Okamžitý index únosnosti IBI | 12 % |
|-------------------------------------|-------------|



Okamžitý index únosnosti ČSN EN 13286-47

| Okamžitý index únosnosti – IBI | | | |
|---|--------|---------------------|---------------------------------|
| Z1V – Zemina č. 1 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | |
| Penetrace | Síla | Standardní síla | IBI (100/F _s)x F |
| [mm] | F [kN] | F _s [kN] | [%] |
| 0,5 | 0,351 | | |
| 1,0 | 0,647 | | |
| 1,5 | 0,995 | | |
| 2,0 | 1,453 | | |
| 2,5 | 1,919 | 13,20 | 14,54 |
| 3,0 | 2,499 | | |
| 3,5 | 3,038 | | |
| 4,0 | 3,518 | | |
| 4,5 | 3,973 | | |
| 5,0 | 4,39 | 20,00 | 21,95 |
| 5,5 | 4,77 | | |
| 6,0 | 5,144 | | |
| 6,5 | 5,483 | | |
| 7,0 | 5,81 | | |
| 7,5 | 6,03 | | |
| 8,0 | 6,413 | | |

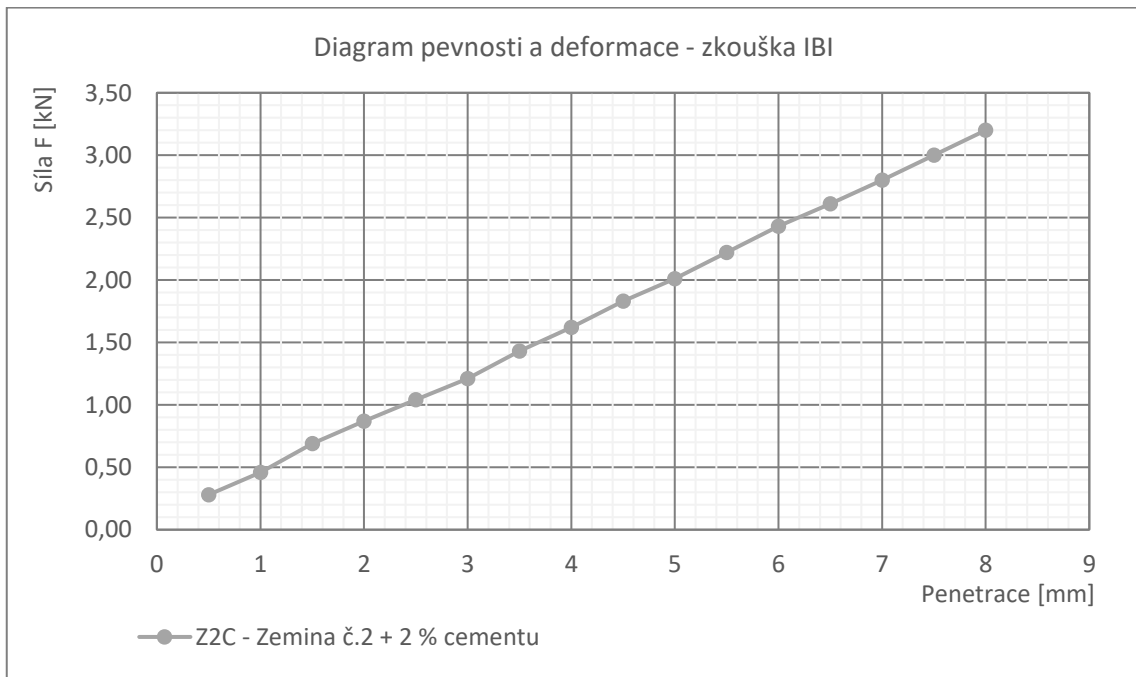
| | |
|------------------------------|------|
| Okamžitý index únosnosti IBI | 22 % |
|------------------------------|------|



Okamžitý index únosnosti ČSN EN 13286-47

| Okamžitý index únosnosti – IBI | | | |
|---------------------------------|--------|---------------------|------------------------------|
| Z2C – Zemina č. 2 + 2 % cementu | | | |
| Penetrace | Síla | Standardní síla | IBI |
| [mm] | F [kN] | F _s [kN] | (100/F _s)x F [%] |
| 0,5 | 0,28 | | |
| 1,0 | 0,46 | | |
| 1,5 | 0,69 | | |
| 2,0 | 0,87 | | |
| 2,5 | 1,04 | 13,20 | 7,88 |
| 3,0 | 1,21 | | |
| 3,5 | 1,43 | | |
| 4,0 | 1,62 | | |
| 4,5 | 1,83 | | |
| 5,0 | 2,01 | 20,00 | 10,05 |
| 5,5 | 2,22 | | |
| 6,0 | 2,43 | | |
| 6,5 | 2,61 | | |
| 7,0 | 2,80 | | |
| 7,5 | 3,00 | | |
| 8,0 | 3,20 | | |

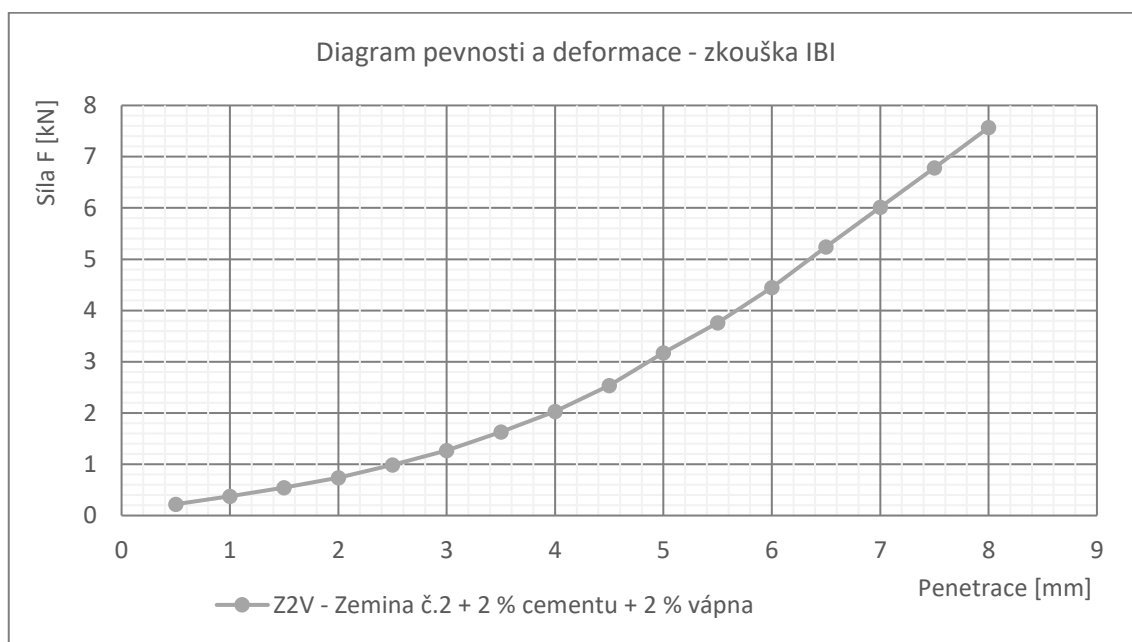
| | |
|------------------------------|------|
| Okamžitý index únosnosti IBI | 10 % |
|------------------------------|------|



Okamžitý index únosnosti ČSN EN 13286-47

| Okamžitý index únosnosti – IBI | | | |
|---|--------|---------------------|---------------------------------|
| Z2V – Zemina č. 2 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | |
| Penetrace | Síla | Standardní síla | IBI (100/F _s)x F |
| [mm] | F [kN] | F _s [kN] | [%] |
| 0,5 | 0,221 | | |
| 1,0 | 0,374 | | |
| 1,5 | 0,546 | | |
| 2,0 | 0,741 | | |
| 2,5 | 0,99 | 13,20 | 7,50 |
| 3,0 | 1,27 | | |
| 3,5 | 1,631 | | |
| 4,0 | 2,03 | | |
| 4,5 | 2,535 | | |
| 5,0 | 3,173 | 20,00 | 15,87 |
| 5,5 | 3,762 | | |
| 6,0 | 4,45 | | |
| 6,5 | 5,243 | | |
| 7,0 | 6,013 | | |
| 7,5 | 6,783 | | |
| 8,0 | 7,568 | | |

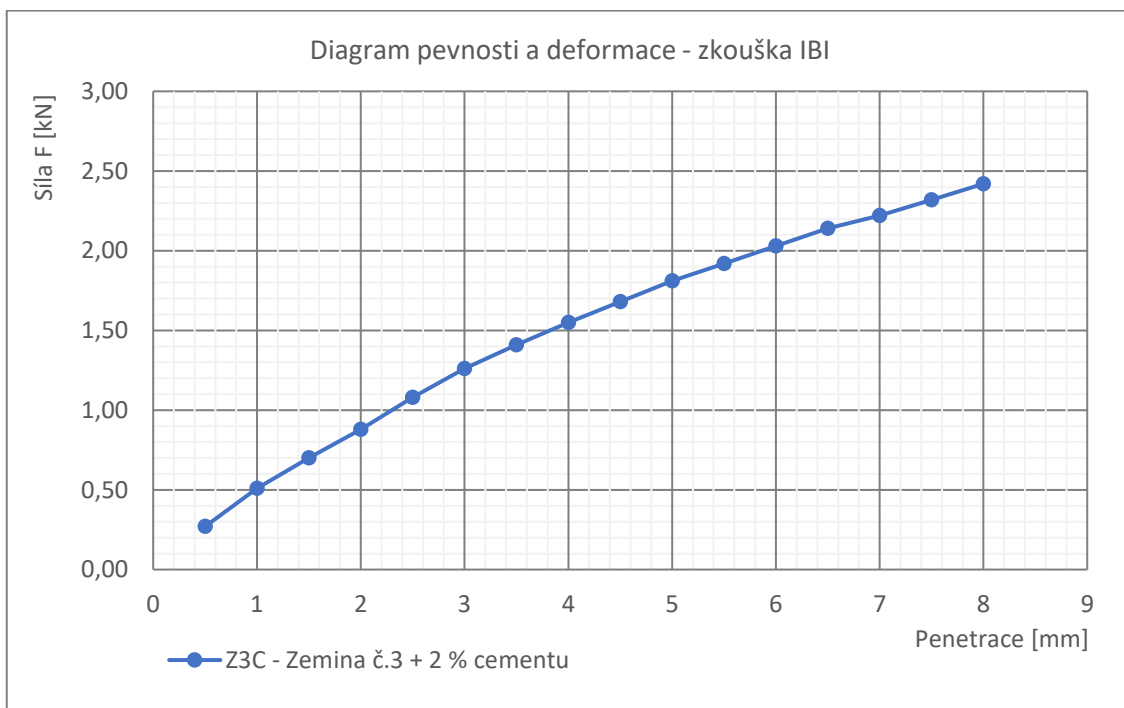
| | |
|------------------------------|------|
| Okamžitý index únosnosti IBI | 16 % |
|------------------------------|------|



Okamžitý index únosnosti ČSN EN 13286-47

| Okamžitý index únosnosti – IBI | | | |
|---------------------------------|--------|---------------------|------------------------------|
| Z3C – Zemina č. 3 + 2 % cementu | | | |
| Penetrace | Síla | Standardní síla | IBI |
| [mm] | F [kN] | F _s [kN] | (100/F _s)x F [%] |
| 0,5 | 0,27 | | |
| 1,0 | 0,51 | | |
| 1,5 | 0,70 | | |
| 2,0 | 0,88 | | |
| 2,5 | 1,08 | 13,20 | 8,18 |
| 3,0 | 1,26 | | |
| 3,5 | 1,41 | | |
| 4,0 | 1,55 | | |
| 4,5 | 1,68 | | |
| 5,0 | 1,81 | 20,00 | 9,05 |
| 5,5 | 1,92 | | |
| 6,0 | 2,03 | | |
| 6,5 | 2,14 | | |
| 7,0 | 2,22 | | |
| 7,5 | 2,32 | | |
| 8,0 | 2,42 | | |

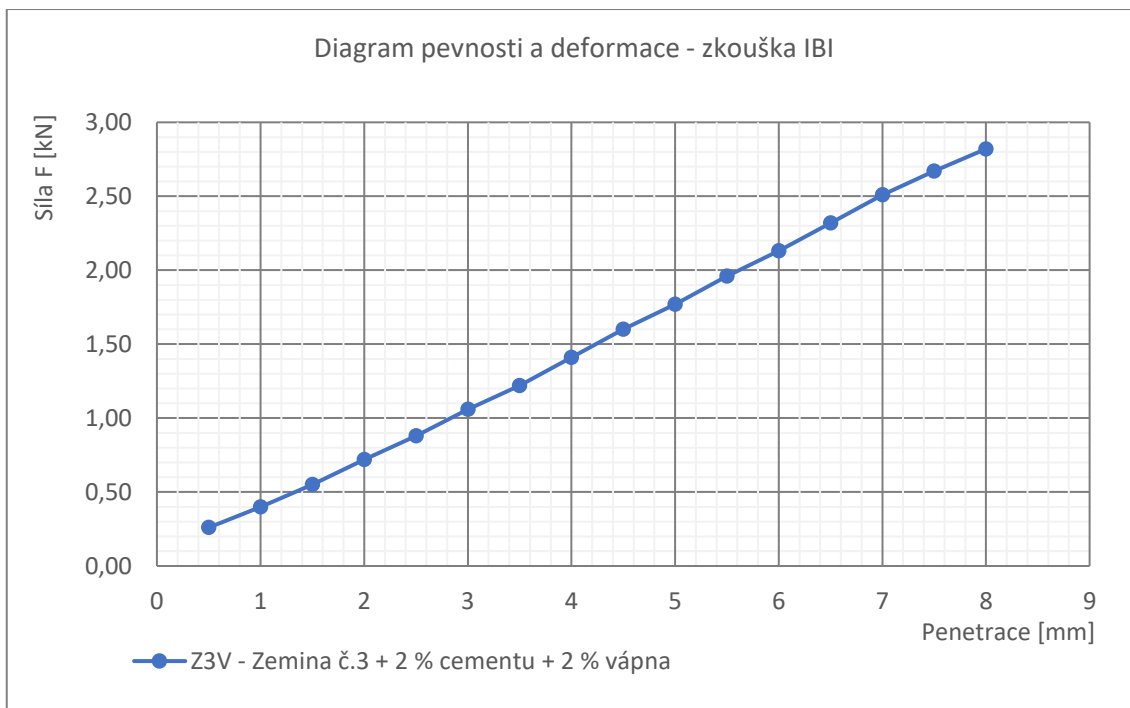
| | |
|------------------------------|------------|
| Okamžitý index únosnosti IBI | 9 % |
|------------------------------|------------|



Okamžitý index únosnosti ČSN EN 13286-47

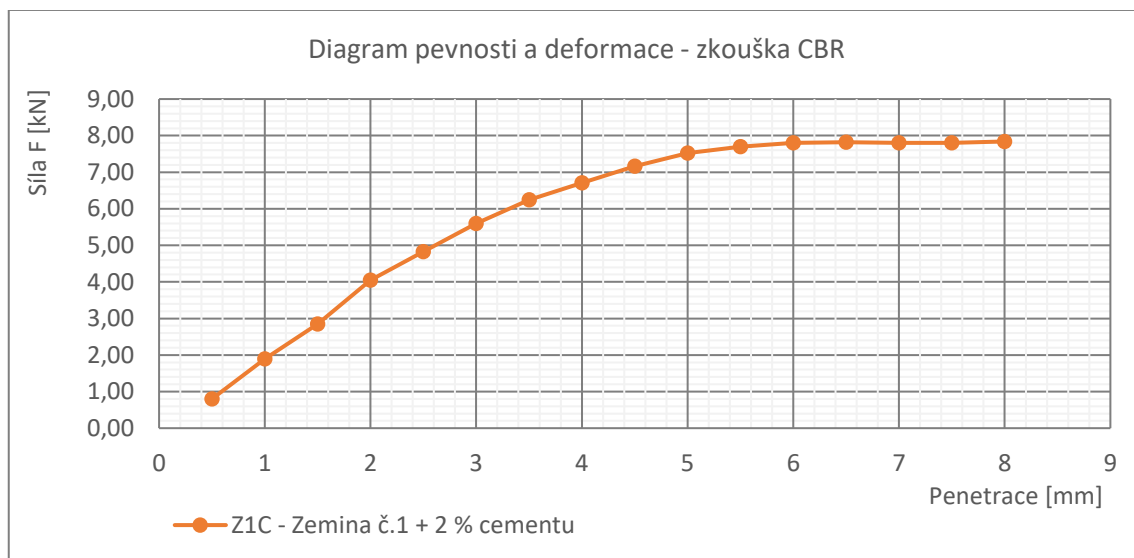
| Okamžitý index únosnosti – IBI | | | |
|--|--------|---------------------|------------------------------|
| Z3V – Zemina č.3 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | |
| Penetrace | Síla | Standardní síla | IBI |
| [mm] | F [kN] | F _s [kN] | (100/F _s)x F [%] |
| 0,5 | 0,26 | | |
| 1,0 | 0,40 | | |
| 1,5 | 0,55 | | |
| 2,0 | 0,72 | | |
| 2,5 | 0,88 | 13,20 | 6,67 |
| 3,0 | 1,06 | | |
| 3,5 | 1,22 | | |
| 4,0 | 1,41 | | |
| 4,5 | 1,60 | | |
| 5,0 | 1,77 | 20,00 | 8,85 |
| 5,5 | 1,96 | | |
| 6,0 | 2,13 | | |
| 6,5 | 2,32 | | |
| 7,0 | 2,51 | | |
| 7,5 | 2,67 | | |
| 8,0 | 2,82 | | |

| | |
|------------------------------|-----|
| Okamžitý index únosnosti IBI | 9 % |
|------------------------------|-----|



Kalifornský poměr únosnosti ČSN EN 13286-47

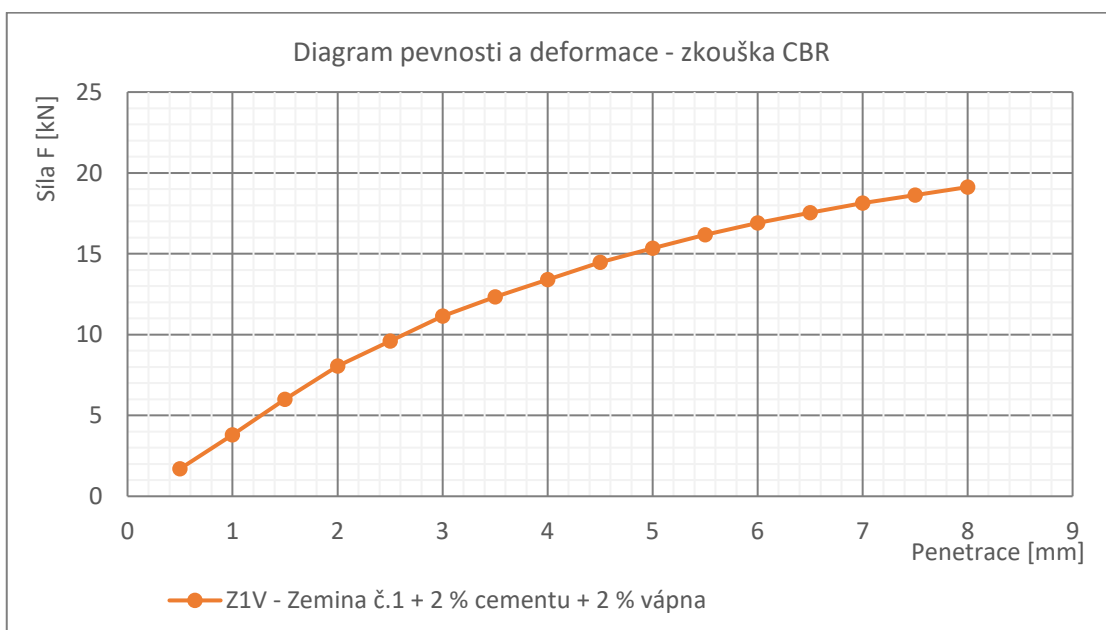
| Kalifornský poměr únosnosti – CBR | | | |
|--|--------|---------------------|------------------------------|
| Z1C – Zemina č. 1 + 2 % cementu | | | |
| Penetrace | Síla | Standardní síla | CBR |
| [mm] | F [kN] | F _s [kN] | (100/F _s)x F [%] |
| 0,5 | 0,80 | | |
| 1,0 | 1,89 | | |
| 1,5 | 2,85 | | |
| 2,0 | 4,05 | | |
| 2,5 | 4,83 | 13,20 | 36,59 |
| 3,0 | 5,60 | | |
| 3,5 | 6,24 | | |
| 4,0 | 6,71 | | |
| 4,5 | 7,16 | | |
| 5,0 | 7,52 | 20,00 | 37,60 |
| 5,5 | 7,70 | | |
| 6,0 | 7,80 | | |
| 6,5 | 7,82 | | |
| 7,0 | 7,80 | | |
| 7,5 | 7,80 | | |
| 8,0 | 7,84 | | |
| Kalifornský poměr únosnosti CBR | | | 38 % |



Kalifornský poměr únosnosti ČSN EN 13286-47

| Kalifornský poměr únosnosti – CBR | | | |
|---|--------|---------------------|---------------------------------|
| Z1V – Zemina č. 1 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | |
| Penetrace | Síla | Standardní síla | CBR (100/F _s)x F |
| [mm] | F [kN] | F _s [kN] | [%] |
| 0,5 | 1,701 | | |
| 1,0 | 3,794 | | |
| 1,5 | 6,002 | | |
| 2,0 | 8,057 | | |
| 2,5 | 9,603 | 13,20 | 72,75 |
| 3,0 | 11,147 | | |
| 3,5 | 12,335 | | |
| 4,0 | 13,402 | | |
| 4,5 | 14,476 | | |
| 5,0 | 15,347 | 20,00 | 76,74 |
| 5,5 | 16,172 | | |
| 6,0 | 16,908 | | |
| 6,5 | 17,538 | | |
| 7,0 | 18,132 | | |
| 7,5 | 18,632 | | |
| 8,0 | 19,122 | | |

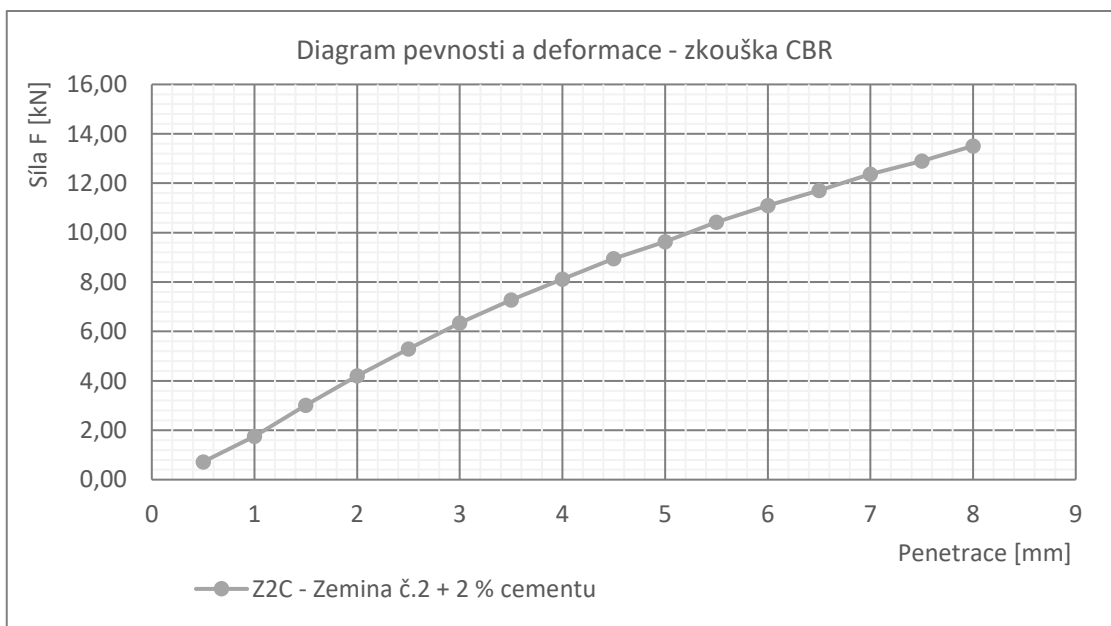
| | |
|--|-------------|
| Kalifornský poměr únosnosti CBR | 77 % |
|--|-------------|



Kalifornský poměr únosnosti ČSN EN 13286-47

| Kalifornský poměr únosnosti – CBR | | | |
|-----------------------------------|--------|---------------------|------------------------------|
| Z2C – Zemina č.2 + 2 % cementu | | | |
| Penetrace | Síla | Standardní síla | CBR |
| [mm] | F [kN] | F _s [kN] | (100/F _s)x F [%] |
| 0,5 | 0,72 | | |
| 1,0 | 1,76 | | |
| 1,5 | 3,01 | | |
| 2,0 | 4,20 | | |
| 2,5 | 5,29 | 13,20 | 40,08 |
| 3,0 | 6,34 | | |
| 3,5 | 7,28 | | |
| 4,0 | 8,12 | | |
| 4,5 | 8,94 | | |
| 5,0 | 9,63 | 20,00 | 48,15 |
| 5,5 | 10,42 | | |
| 6,0 | 11,10 | | |
| 6,5 | 11,71 | | |
| 7,0 | 12,37 | | |
| 7,5 | 12,90 | | |
| 8,0 | 13,51 | | |

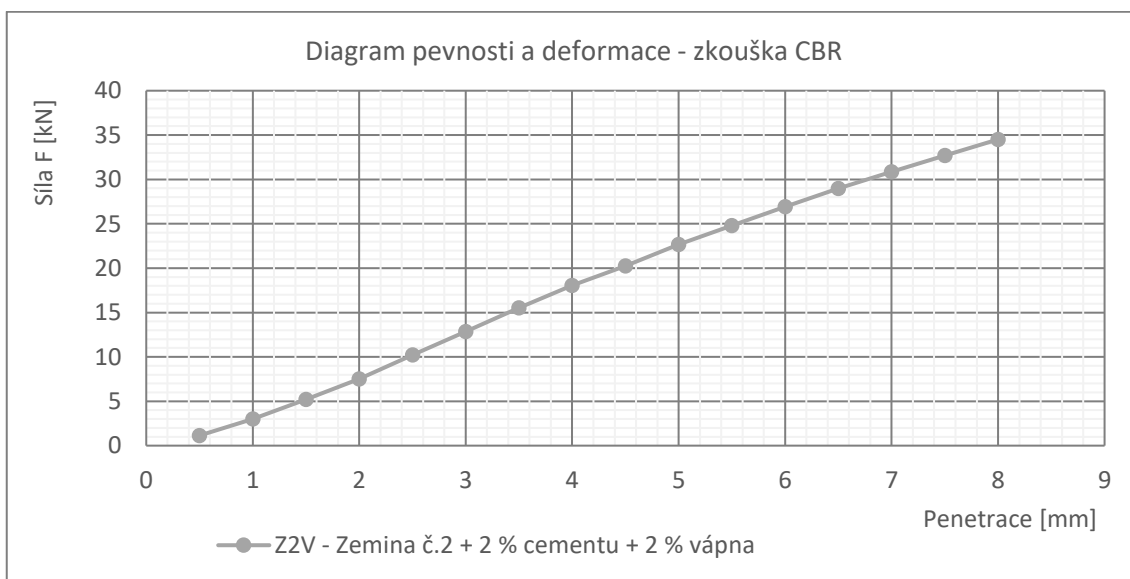
| | |
|--|-------------|
| Kalifornský poměr únosnosti CBR | 48 % |
|--|-------------|



Kalifornský poměr únosnosti ČSN EN 13286-47

| Kalifornský poměr únosnosti – CBR | | | | | |
|--|--------|---------------------|---------------------------------|-------|---------------|
| Z2V – Zemina č.2 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | | | |
| Penetrace | Síla | Standardní síla | CBR (100/F _s)x F | | |
| [mm] | F [kN] | F _s [kN] | [%] | | |
| 0,5 | 1,14 | | | | |
| 1,0 | 2,994 | | | | |
| 1,5 | 5,223 | | | | |
| 2,0 | 7,516 | | | | |
| 2,5 | 10,236 | | | | |
| 2,5 | 10,236 | 13,20 | 77,55 | | |
| 3,0 | 12,84 | | | | |
| 3,5 | 15,523 | | | | |
| 4,0 | 18,063 | | | | |
| 4,5 | 20,238 | | | | |
| 5,0 | 22,674 | | | | |
| 5,0 | 22,674 | | | 20,00 | 113,37 |
| 5,5 | 24,803 | | | | |
| 6,0 | 26,91 | | | | |
| 6,5 | 28,997 | | | | |
| 7,0 | 30,855 | | | | |
| 7,5 | 32,703 | | | | |
| 8,0 | 34,508 | | | | |

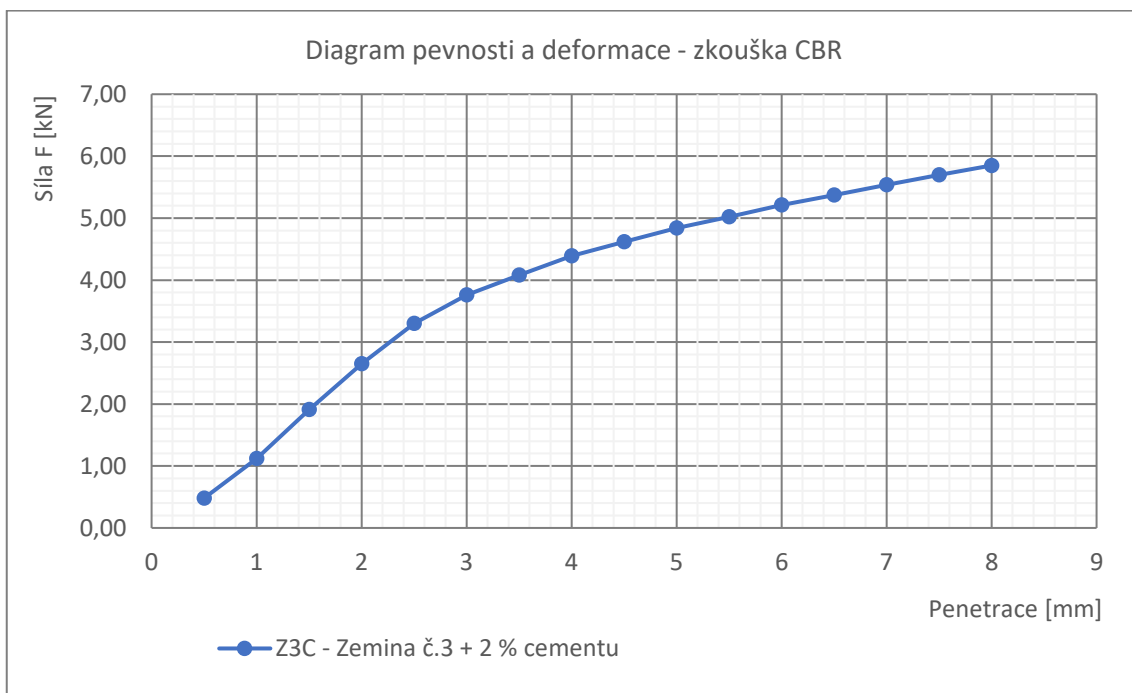
| | |
|--|--------------|
| Kalifornský poměr únosnosti CBR | 113 % |
|--|--------------|



Kalifornský poměr únosnosti ČSN EN 13286-47

| Kalifornský poměr únosnosti – CBR | | | |
|-----------------------------------|--------|---------------------|------------------------------|
| Z3C – Zemina č. 3 + 2 % cementu | | | |
| Penetrace | Síla | Standardní síla | CBR |
| [mm] | F [kN] | F _s [kN] | (100/F _s)x F [%] |
| 0,5 | 0,48 | | |
| 1,0 | 1,12 | | |
| 1,5 | 1,91 | | |
| 2,0 | 2,65 | | |
| 2,5 | 3,30 | | |
| 2,5 | 3,30 | 13,20 | 25,00 |
| 3,0 | 3,76 | | |
| 3,5 | 4,08 | | |
| 4,0 | 4,39 | | |
| 4,5 | 4,62 | | |
| 5,0 | 4,84 | | |
| 5,0 | 4,84 | 20,00 | 24,20 |
| 5,5 | 5,02 | | |
| 6,0 | 5,21 | | |
| 6,5 | 5,37 | | |
| 7,0 | 5,54 | | |
| 7,5 | 5,70 | | |
| 8,0 | 5,85 | | |

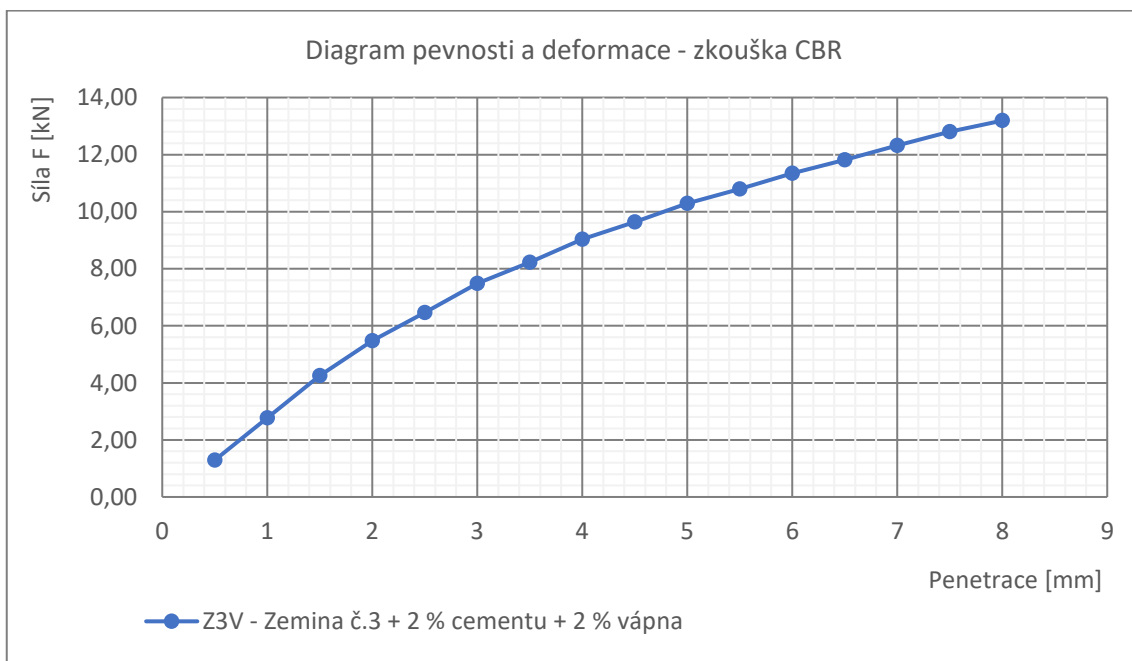
| | |
|---------------------------------|-------------|
| Kalifornský poměr únosnosti CBR | 25 % |
|---------------------------------|-------------|



Kalifornský poměr únosnosti ČSN EN 13286-47

| Kalifornský poměr únosnosti – CBR | | | |
|---|--------|---------------------|------------------------------|
| Z3V – Zemina č. 3 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | |
| Penetrace | Síla | Standardní síla | CBR |
| [mm] | F [kN] | F _s [kN] | (100/F _s)x F [%] |
| 0,5 | 1,29 | | |
| 1,0 | 2,77 | | |
| 1,5 | 4,25 | | |
| 2,0 | 5,47 | | |
| 2,5 | 6,46 | | |
| 2,5 | 6,46 | 13,20 | 48,94 |
| 3,0 | 7,48 | | |
| 3,5 | 8,23 | | |
| 4,0 | 9,03 | | |
| 4,5 | 9,64 | | |
| 5,0 | 10,29 | | |
| 5,0 | 10,29 | 20,00 | 51,45 |
| 5,5 | 10,79 | | |
| 6,0 | 11,34 | | |
| 6,5 | 11,81 | | |
| 7,0 | 12,32 | | |
| 7,5 | 12,80 | | |
| 8,0 | 13,19 | | |

| | |
|---------------------------------|-------------|
| Kalifornský poměr únosnosti CBR | 51 % |
|---------------------------------|-------------|



Lineární bobtnání ČSN EN 13286-47

| Lineární bobtnání | | | | | | |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Z1C – Zemina č.1 + 2 % cementu | | | | | | |
| Čas [hod] | 1 | 4 | 8 | 24 | 48 | 96 |
| Lineární bobtnání [mm] | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |

| Lineární bobtnání | | | | | | |
|--|---|---|-----|-----|-----|-----|
| Z1V – Zemina č.1 + 2 % cementu + 2 % vápna | | | | | | |
| Čas [hod] | 1 | 4 | 8 | 24 | 48 | 96 |
| Lineární bobtnání [mm] | 0 | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |

| Lineární bobtnání | | | | | | |
|--------------------------------|---|---|---|----|----|----|
| Z2C – Zemina č.2 + 2 % cementu | | | | | | |
| Čas [hod] | 1 | 4 | 8 | 24 | 48 | 96 |
| Lineární bobtnání [mm] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Lineární bobtnání | | | | | | |
|--|---|---|---|----|----|----|
| Z2V – Zemina č.2 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | | | | |
| Čas [hod] | 1 | 4 | 8 | 24 | 48 | 96 |
| Lineární bobtnání [mm] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Lineární bobtnání | | | | | | |
|--------------------------------|---|---|---|----|----|----|
| Z3C – Zemina č.3 + 2 % cementu | | | | | | |
| Čas [hod] | 1 | 4 | 8 | 24 | 48 | 96 |
| Lineární bobtnání [mm] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Lineární bobtnání | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Z3V – Zemina č.3 + 2 % cementu + 2 % vápna | | | | | | |
| Čas [hod] | 1 | 4 | 8 | 24 | 48 | 96 |
| Lineární bobtnání [mm] | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

| | Zemina č.1 | | Zemina č.2 | | Zemina č.3 | |
|-----------------------|------------|------|------------|------|------------|------|
| | Z1C | Z1V | Z2C | Z2V | Z3C | Z3V |
| Lineární bobtnání [%] | 0,33 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,17 |

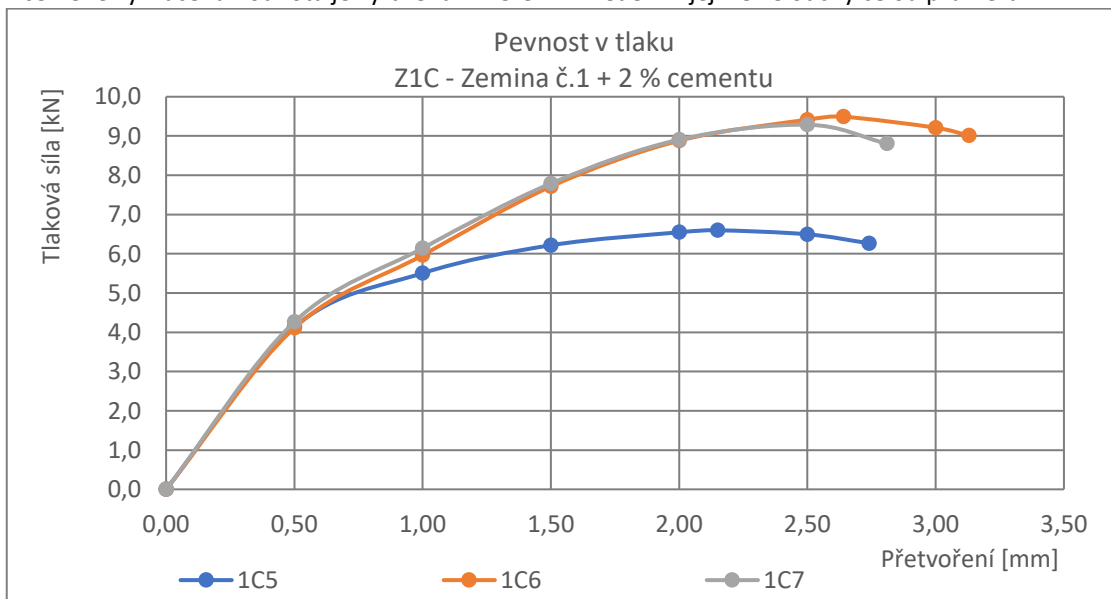
Stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy ČSN EN 13286-41

| PEVNOST V TLAKU | | | |
|---------------------------------|-----------------------|-------------|-------------|
| Z1C – Zemina č. 1 + 2 % cementu | | | |
| Přetvoření [mm] | Pevnost v tlaku těles | | |
| | 1C5 [kN] | 1C6 [kN] | 1C7 [kN] |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 0,50 | 4,136 | 4,111 | 4,263 |
| 1,00 | 5,506 | 5,963 | 6,141 |
| 1,50 | 6,217 | 7,714 | 7,790 |
| 2,00 | 6,547 | 8,881 | 8,907 |
| 2,50 | 6,496 | 9,414 | 9,287 |
| 3,00 | | 9,211 | |
| Konečné přetvoření | | | |
| 2,74 | 6,268 | | |
| 3,13 | | 9,008 | |
| 2,81 | | | 8,805 |

| | | | |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| max. tlaková síla [kN] | 6,598 | 9,490 | 9,287 |
| Odpovídající přetvoření [mm] | 2,15 | 2,64 | 2,5 |

| | |
|--|--------------|
| Průměrná max. tlaková síla F [kN] | 9,389 |
| Plocha průřezu A _c [cm ²] | 78,540 |
| Průměrná max. pevnost v tlaku R_c [MPa] | 1,195 |

* červeně vyznačená hodnota je vyřazena z měření vzhledem k její velké odchylce od průměru

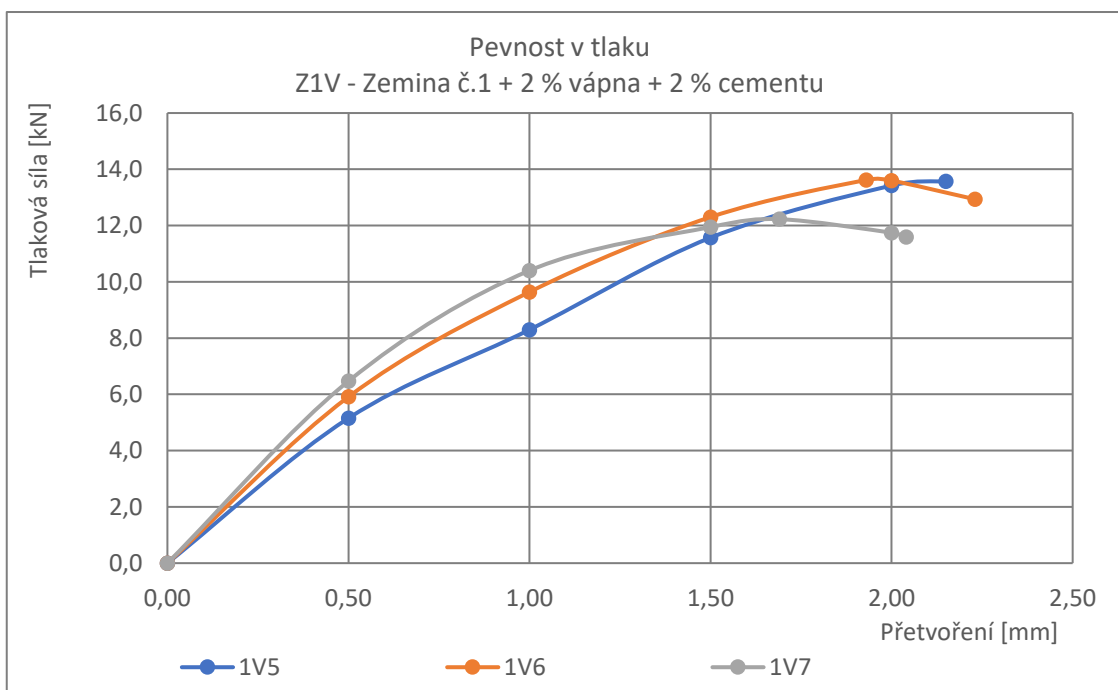


Stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy ČSN EN 13286-41

| PEVNOST V TLAKU | | | |
|---|--------------|--------|--------|
| Z1V – Zemina č. 1 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | |
| Přetvoření | Tlaková síla | | |
| | 1V5 | 1V6 | 1V7 |
| [mm] | [kN] | [kN] | [kN] |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 0,50 | 5,151 | 5,911 | 6,469 |
| 1,00 | 8,298 | 9,639 | 10,401 |
| 1,50 | 11,571 | 12,303 | 11,948 |
| 2,00 | 13,424 | 13,597 | 11,745 |
| 2,50 | 12,967 | | |
| 3,00 | | | |
| Konečné přetvoření | | | |
| 2,52 | 12,891 | | |
| 2,23 | | 12,937 | |
| 2,04 | | | 11,593 |

| | | | |
|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Maximální tlaková síla [kN] | 13,576 | 13,622 | 12,227 |
| Odpovídající přetvoření [mm] | 2,15 | 1,93 | 1,69 |

| | |
|---|---------------|
| Průměrná max. tlaková síla F [kN] | 13,142 |
| Plocha průřezu A_c [cm ²] | 78,540 |
| Průměrná max. pevnost v tlaku R_c [MPa] | 1,673 |

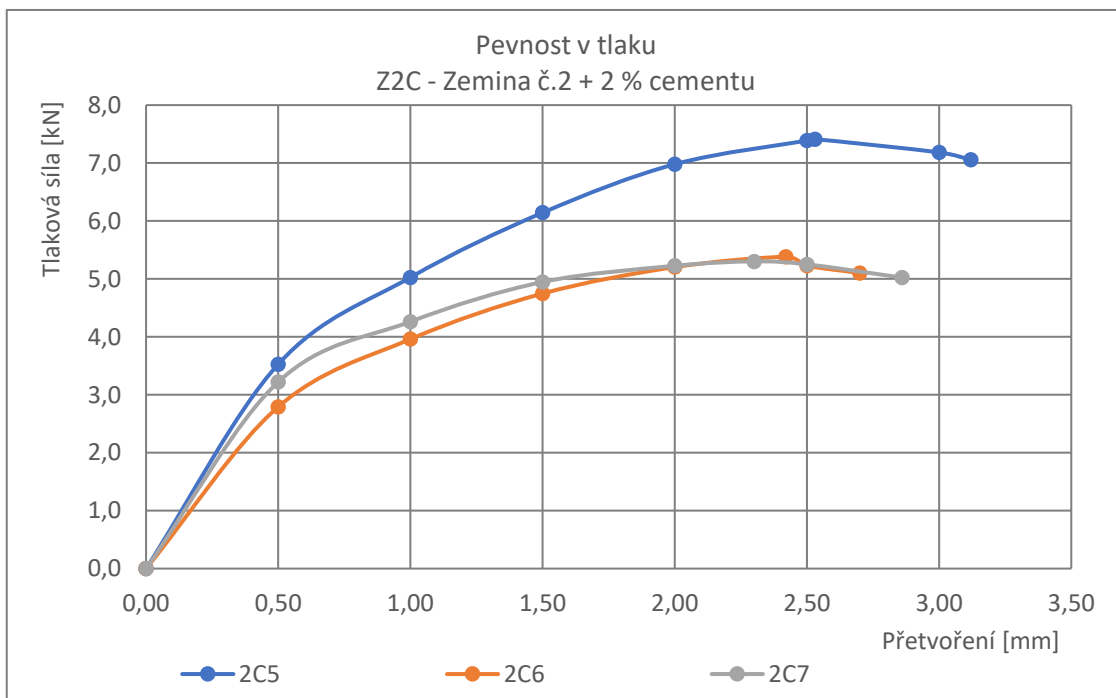


Stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy ČSN EN 13286-41

| PEVNOST V TLAKU | | | |
|---------------------------------|-----------------------|-------|-------|
| Z2C – Zemina č. 2 + 2 % cementu | | | |
| Přetvoření | Pevnost v tlaku těles | | |
| | 2C5 | 2C6 | 2C7 |
| [mm] | [kN] | [kN] | [kN] |
| 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 0,50 | 3,528 | 2,792 | 3,222 |
| 1,00 | 5,026 | 3,96 | 4,262 |
| 1,50 | 6,143 | 4,747 | 4,947 |
| 2,00 | 6,980 | 5,204 | 5,226 |
| 2,50 | 7,387 | 5,229 | 5,251 |
| 3,00 | 7,184 | | |
| Konečné přetvoření | | | |
| 3,12 | 7,057 | | |
| 2,70 | | 5,102 | |
| 2,86 | | | 5,023 |

| | | | |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Maximální tlaková síla [kN] | 7,412 | 5,381 | 5,302 |
| Odpovídající přetvoření [mm] | 2,53 | 2,42 | 2,30 |

| | |
|--|--------------|
| Průměrná max. tlaková síla F [kN] | 6,032 |
| Plocha průřezu A _c [cm ²] | 78,540 |
| Průměrná max. pevnost v tlaku R_c [MPa] | 0,768 |

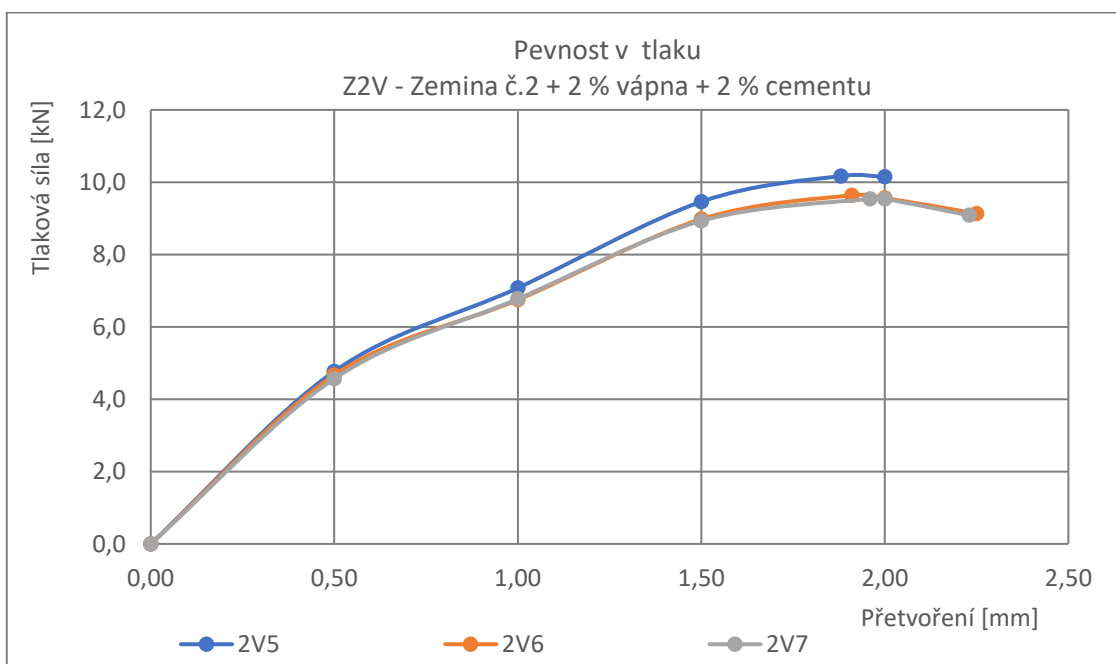


Stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy ČSN EN 13286-41

| PEVNOST V TLAKU | | | |
|---|-----------------------|-------|-------|
| Z2V – Zemina č. 2 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | |
| Přetvoření | Pevnost v tlaku těles | | |
| | 2V5 | 2V6 | 2V7 |
| [mm] | [kN] | [kN] | [kN] |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,50 | 4,769 | 4,668 | 4,568 |
| 1,00 | 7,077 | 6,748 | 6,775 |
| 1,50 | 9,462 | 8,98 | 8,932 |
| 2,00 | 10,147 | 9,563 | 9,541 |
| 2,50 | | | |
| 3,00 | | | |
| Konečné přetvoření | | | |
| 2,24 | 9,665 | | |
| 2,25 | | 9,132 | |
| 2,23 | | | 9,084 |

| | | | |
|------------------------------------|---------------|--------------|--------------|
| Maximální tlaková síla [kN] | 10,172 | 9,639 | 9,541 |
| Odpovídající přetvoření [mm] | 1,88 | 1,91 | 1,96 |

| | |
|---|--------------|
| Průměrná max. tlaková síla F [kN] | 9,784 |
| Plocha průřezu A_c [cm ²] | 78,540 |
| Průměrná max. pevnost v tlaku R_c [MPa] | 1,246 |

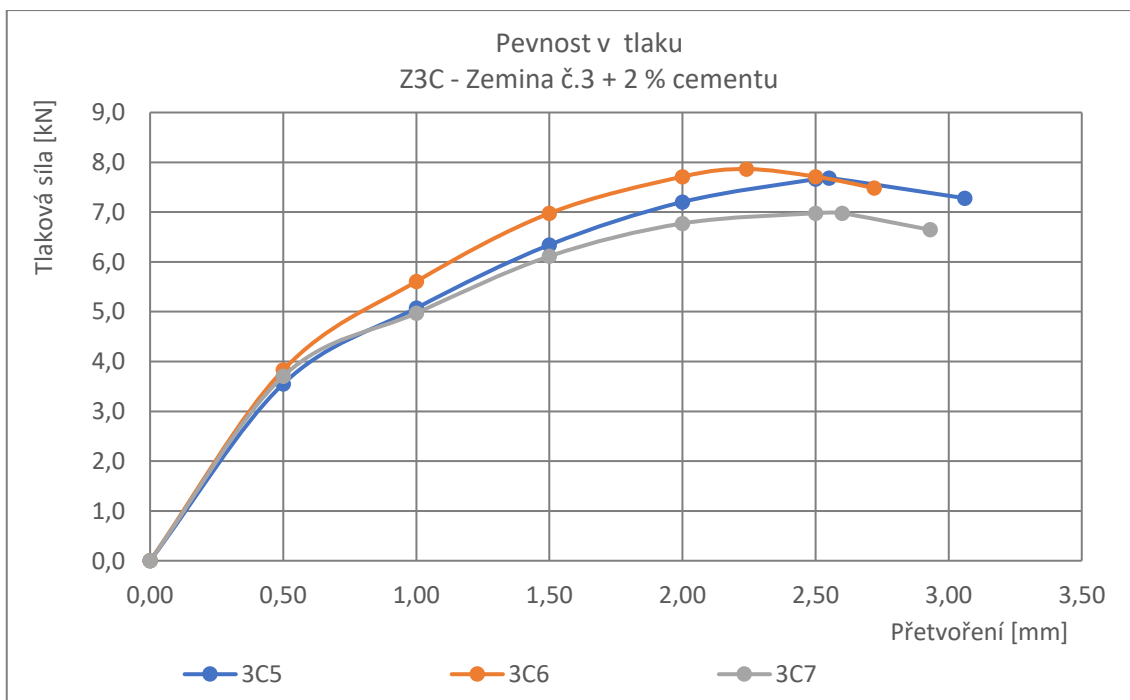


Stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy ČSN EN 13286-41

| PEVNOST V TLAKU | | | |
|--|------------------------------|-------------|-------------|
| Z3C – Zemina č. 3 + 2 % cementu | | | |
| Přetvoření | Pevnost v tlaku těles | | |
| | 3C5 | 3C6 | 3C7 |
| [mm] | [kN] | [kN] | [kN] |
| 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50 | 3,551 | 3,83 | 3,704 |
| 1,00 | 5,073 | 5,606 | 4,972 |
| 1,50 | 6,342 | 6,976 | 6,113 |
| 2,00 | 7,204 | 7,712 | 6,773 |
| 2,50 | 7,661 | 7,712 | 6,976 |
| 3,00 | | | |
| Konečné přetvoření | | | |
| 3,06 | 7,280 | | |
| 2,72 | | 7,483 | |
| 2,93 | | | 6,646 |

| | | | |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Maximální tlaková síla [kN] | 7,686 | 7,864 | 6,976 |
| Odovídající přetvoření [mm] | 2,55 | 2,24 | 2,6 |

| | |
|--|--------------|
| Průměrná max. tlaková síla F [kN] | 7,509 |
| Plocha průřezu A _c [cm ²] | 78,540 |
| Průměrná max. pevnost v tlaku R_c [MPa] | 0,956 |

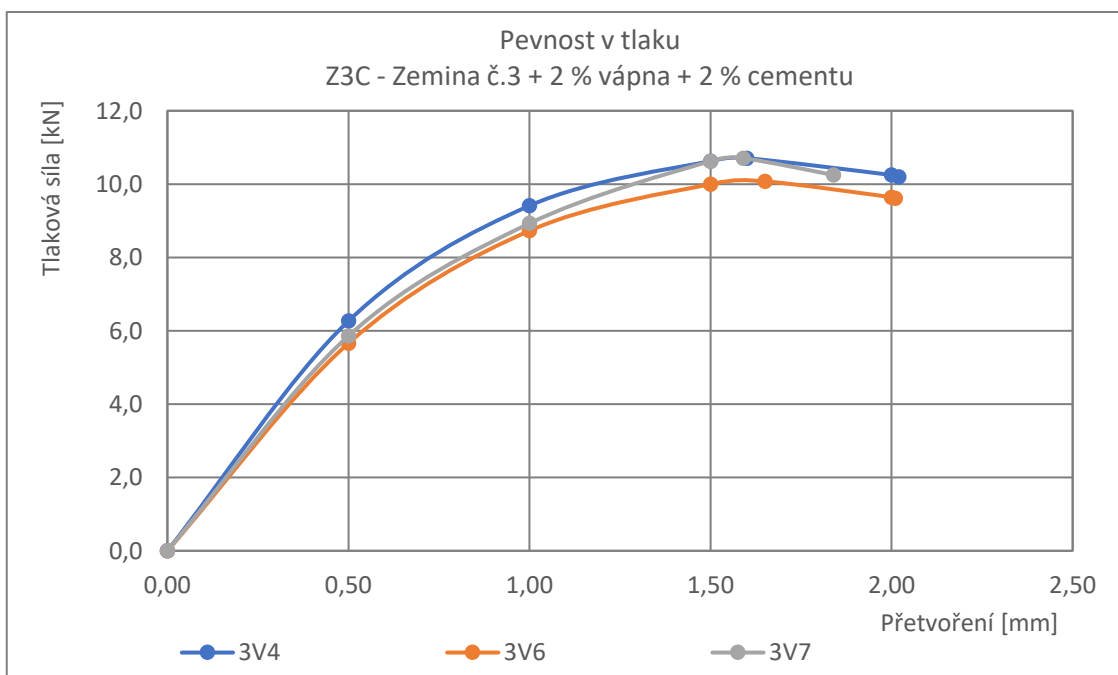


Stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy ČSN EN 13286-41

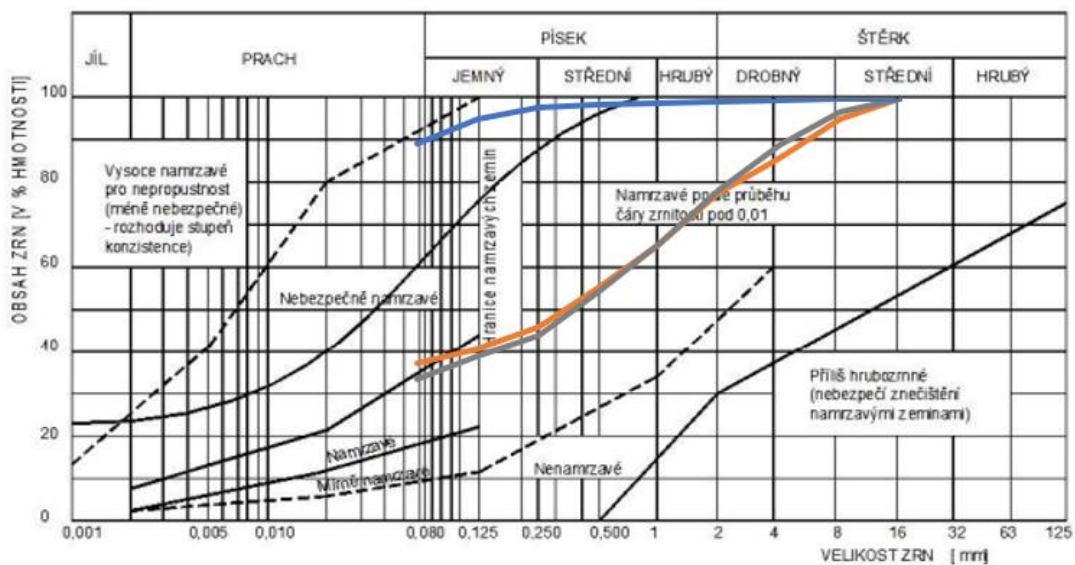
| PEVNOST V TLAKU | | | |
|---|-----------------------|-------|--------|
| Z3V – Zemina č. 3 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | |
| Přetvoření | Pevnost v tlaku těles | | |
| | 3V4 | 3V6 | 3V7 |
| [mm] | [kN] | [kN] | [kN] |
| 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50 | 6,266 | 5,659 | 5,86 |
| 1,00 | 9,411 | 8,729 | 8,929 |
| 1,50 | 10,629 | 9,998 | 10,629 |
| 2,00 | 10,248 | 9,643 | |
| 2,50 | | | |
| 3,00 | | | |
| Konečné přetvoření | | | |
| 2,02 | 10,198 | | |
| 2,01 | | 9,617 | |
| 1,84 | | | 10,248 |

| | | | |
|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Maximální tlaková síla [kN] | 10,705 | 10,074 | 10,705 |
| Odpovídající přetvoření [mm] | 1,6 | 1,65 | 1,59 |

| | |
|--|---------------|
| Průměrná max. tlaková síla F [kN] | 10,495 |
| Plocha průřezu A _c [cm ²] | 78,540 |
| Průměrná max. pevnost v tlaku R_c [MPa] | 1,336 |



Stanovení namrzavosti – Scheiblovo kritérium ČSN EN 73 6133



— Zemina č.1 — Zemina č.2 — Zemina č.3

| Zemina č. 1 | Zemina č. 2 | Zemina č. 3 |
|-------------|-------------|---------------------|
| Namrzavé | Namrzavé | Nebezpečně namrzavé |

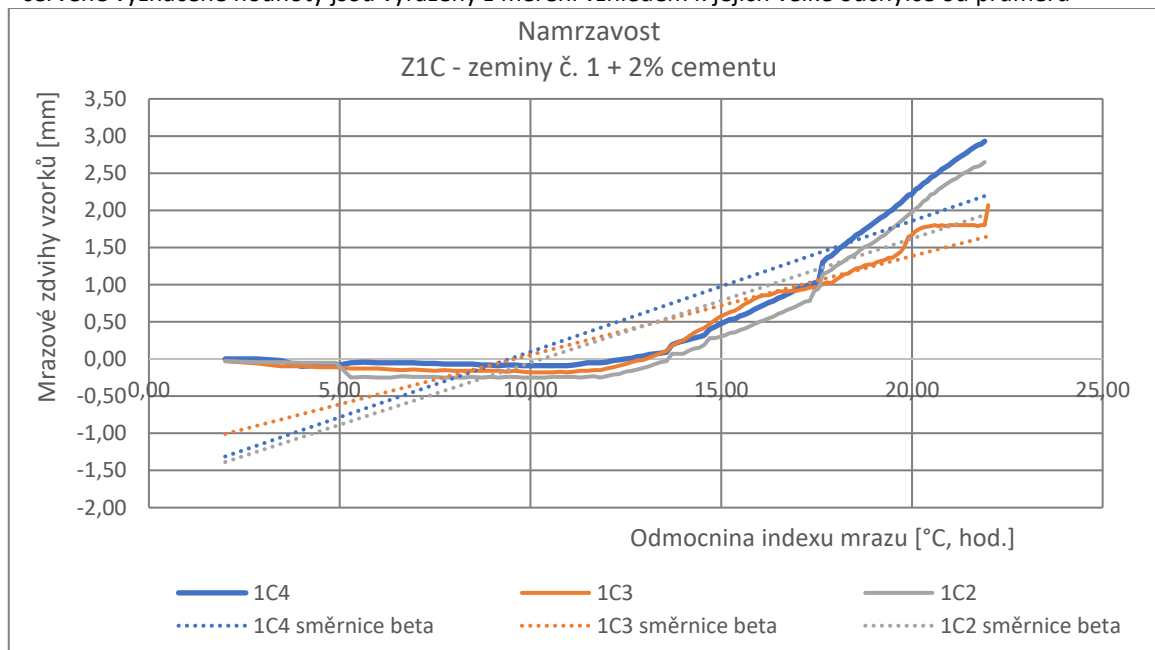
Zkoušení míry namrzavosti ČSN 72 1191

| NAMRZAVOST | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|------------------------|----------------|------------|------------|------------------------|-----------|-----------|
| Z1C – Zemina č. 1 + 2 % cementu | | | | | | | | |
| čas | Index mrazu | Odmocnina indexu mrazu | Mrazové zdvihy | | | Součinitel namrzavosti | | |
| | | | 1C4 | 1C3 | 1C2 | 1C4 | 1C3 | 1C2 |
| hod | I_m [°C] | $\sqrt{I_m}$ [√°C] | h_1 [mm] | h_2 [mm] | h_3 [mm] | β_1 | β_2 | β_3 |
| 0 | 4 | 2,00 | 0,00 | -0,03 | -0,03 | 0,00 | -0,04 | -0,01 |
| 1 | 8 | 2,83 | 0,00 | -0,06 | -0,04 | -0,03 | -0,06 | 0,00 |
| 2 | 12 | 3,46 | -0,02 | -0,10 | -0,04 | -0,15 | 0,00 | -0,02 |
| 3 | 16 | 4,00 | -0,10 | -0,10 | -0,05 | 0,04 | -0,02 | 0,00 |
| 4 | 20 | 4,47 | -0,08 | -0,11 | -0,05 | -0,02 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 24 | 4,90 | -0,09 | -0,11 | -0,05 | 0,10 | -0,05 | -0,51 |
| 6 | 28 | 5,29 | -0,05 | -0,13 | -0,25 | 0,03 | 0,00 | 0,03 |
| 7 | 32 | 5,66 | -0,04 | -0,13 | -0,24 | -0,03 | 0,00 | -0,03 |
| 8 | 36 | 6,00 | -0,05 | -0,13 | -0,25 | 0,00 | -0,03 | 0,00 |
| 9 | 40 | 6,32 | -0,05 | -0,14 | -0,25 | 0,00 | -0,03 | 0,06 |
| 10 | 44 | 6,63 | -0,05 | -0,15 | -0,23 | 0,00 | 0,03 | -0,03 |
| 11 | 48 | 6,93 | -0,05 | -0,14 | -0,24 | -0,04 | -0,04 | 0,00 |
| 12 | 52 | 7,21 | -0,06 | -0,15 | -0,24 | 0,00 | -0,04 | 0,00 |
| 13 | 56 | 7,48 | -0,06 | -0,16 | -0,24 | -0,04 | 0,04 | -0,04 |
| 14 | 60 | 7,75 | -0,07 | -0,15 | -0,25 | 0,00 | -0,04 | 0,00 |
| 15 | 64 | 8,00 | -0,07 | -0,16 | -0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 16 | 68 | 8,25 | -0,07 | -0,16 | -0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,04 |
| 17 | 72 | 8,49 | -0,07 | -0,16 | -0,24 | -0,04 | 0,00 | -0,04 |
| 18 | 76 | 8,72 | -0,08 | -0,16 | -0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,04 |
| 19 | 80 | 8,94 | -0,08 | -0,16 | -0,24 | -0,05 | 0,00 | -0,05 |
| 20 | 84 | 9,17 | -0,09 | -0,16 | -0,25 | 0,05 | -0,05 | 0,05 |
| 21 | 88 | 9,38 | -0,08 | -0,17 | -0,24 | 0,00 | 0,05 | 0,00 |
| 22 | 92 | 9,59 | -0,08 | -0,16 | -0,24 | -0,05 | -0,05 | -0,05 |
| 23 | 96 | 9,80 | -0,09 | -0,17 | -0,25 | 0,00 | -0,05 | 0,00 |
| 24 | 100 | 10,00 | -0,09 | -0,18 | -0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25 | 104 | 10,20 | -0,09 | -0,18 | -0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 26 | 108 | 10,39 | -0,09 | -0,18 | -0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,05 |
| 27 | 112 | 10,58 | -0,09 | -0,18 | -0,24 | 0,00 | 0,05 | 0,00 |
| 28 | 116 | 10,77 | -0,09 | -0,17 | -0,24 | 0,00 | -0,05 | 0,00 |
| 29 | 120 | 10,95 | -0,09 | -0,18 | -0,24 | 0,06 | 0,06 | 0,00 |
| 30 | 124 | 11,14 | -0,08 | -0,17 | -0,24 | 0,06 | 0,06 | -0,06 |
| 31 | 128 | 11,31 | -0,07 | -0,16 | -0,25 | 0,11 | 0,00 | 0,06 |
| 32 | 132 | 11,49 | -0,05 | -0,16 | -0,24 | 0,00 | 0,06 | 0,06 |
| 33 | 136 | 11,66 | -0,05 | -0,15 | -0,23 | 0,00 | 0,00 | -0,12 |
| 34 | 140 | 11,83 | -0,05 | -0,15 | -0,25 | 0,06 | 0,12 | 0,12 |
| 35 | 144 | 12,00 | -0,04 | -0,13 | -0,23 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |
| 36 | 148 | 12,17 | -0,02 | -0,11 | -0,21 | 0,06 | 0,12 | 0,06 |
| 37 | 152 | 12,33 | -0,01 | -0,09 | -0,2 | 0,06 | 0,12 | 0,19 |
| 38 | 156 | 12,49 | 0 | -0,07 | -0,17 | 0,06 | 0,19 | 0,06 |
| 39 | 160 | 12,65 | 0,01 | -0,04 | -0,16 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 40 | 164 | 12,81 | 0,03 | -0,02 | -0,14 | 0,06 | 0,06 | 0,13 |

| | | | | | | | | |
|----|-----|-------|------|-------|-------|------|-------|------|
| 41 | 168 | 12,96 | 0,04 | -0,01 | -0,12 | 0,13 | 0,20 | 0,13 |
| 42 | 172 | 13,11 | 0,06 | 0,02 | -0,1 | 0,07 | 0,20 | 0,20 |
| 43 | 176 | 13,27 | 0,07 | 0,05 | -0,07 | 0,07 | 0,20 | 0,20 |
| 44 | 180 | 13,42 | 0,08 | 0,08 | -0,04 | 0,07 | 0,20 | 0,07 |
| 45 | 184 | 13,56 | 0,09 | 0,11 | -0,03 | 0,68 | 0,48 | 0,68 |
| 46 | 188 | 13,71 | 0,19 | 0,18 | 0,07 | 0,21 | 0,28 | 0,00 |
| 47 | 192 | 13,86 | 0,22 | 0,22 | 0,07 | 0,14 | 0,21 | 0,00 |
| 48 | 196 | 14,00 | 0,24 | 0,25 | 0,07 | 0,14 | 0,35 | 0,28 |
| 49 | 200 | 14,14 | 0,26 | 0,3 | 0,11 | 0,14 | 0,36 | 0,21 |
| 50 | 204 | 14,28 | 0,28 | 0,35 | 0,14 | 0,14 | 0,29 | 0,07 |
| 51 | 208 | 14,42 | 0,3 | 0,39 | 0,15 | 0,14 | 0,22 | 0,29 |
| 52 | 212 | 14,56 | 0,32 | 0,42 | 0,19 | 0,59 | 0,37 | 0,66 |
| 53 | 216 | 14,70 | 0,4 | 0,47 | 0,28 | 0,22 | 0,37 | 0,00 |
| 54 | 220 | 14,83 | 0,43 | 0,52 | 0,28 | 0,30 | 0,37 | 0,15 |
| 55 | 224 | 14,97 | 0,47 | 0,57 | 0,3 | 0,23 | 0,23 | 0,15 |
| 56 | 228 | 15,10 | 0,5 | 0,6 | 0,32 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 57 | 232 | 15,23 | 0,53 | 0,63 | 0,35 | 0,08 | 0,15 | 0,08 |
| 58 | 236 | 15,36 | 0,54 | 0,65 | 0,36 | 0,31 | 0,31 | 0,23 |
| 59 | 240 | 15,49 | 0,58 | 0,69 | 0,39 | 0,16 | 0,39 | 0,16 |
| 60 | 244 | 15,62 | 0,6 | 0,74 | 0,41 | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| 61 | 248 | 15,75 | 0,63 | 0,77 | 0,44 | 0,32 | 0,32 | 0,24 |
| 62 | 252 | 15,87 | 0,67 | 0,81 | 0,47 | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| 63 | 256 | 16,00 | 0,7 | 0,84 | 0,5 | 0,24 | 0,16 | 0,16 |
| 64 | 260 | 16,12 | 0,73 | 0,86 | 0,52 | 0,24 | 0,00 | 0,24 |
| 65 | 264 | 16,25 | 0,76 | 0,86 | 0,55 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| 66 | 268 | 16,37 | 0,78 | 0,88 | 0,57 | 0,33 | 0,25 | 0,33 |
| 67 | 272 | 16,49 | 0,82 | 0,91 | 0,61 | 0,17 | 0,00 | 0,17 |
| 68 | 276 | 16,61 | 0,84 | 0,91 | 0,63 | 0,25 | 0,00 | 0,25 |
| 69 | 280 | 16,73 | 0,87 | 0,91 | 0,66 | 0,25 | 0,08 | 0,17 |
| 70 | 284 | 16,85 | 0,9 | 0,92 | 0,68 | 0,34 | 0,00 | 0,25 |
| 71 | 288 | 16,97 | 0,94 | 0,92 | 0,71 | 0,17 | 0,09 | 0,26 |
| 72 | 292 | 17,09 | 0,96 | 0,93 | 0,74 | 0,17 | 0,09 | 0,26 |
| 73 | 296 | 17,20 | 0,98 | 0,94 | 0,77 | 0,17 | 0,17 | 0,09 |
| 74 | 300 | 17,32 | 1 | 0,96 | 0,78 | 0,17 | 0,00 | 1,13 |
| 75 | 304 | 17,44 | 1,02 | 0,96 | 0,91 | 0,17 | 0,09 | 0,35 |
| 76 | 308 | 17,55 | 1,04 | 0,97 | 0,95 | 2,29 | 0,35 | 1,67 |
| 77 | 312 | 17,66 | 1,3 | 1,01 | 1,14 | 0,53 | 0,18 | 0,27 |
| 78 | 316 | 17,78 | 1,36 | 1,03 | 1,17 | 0,27 | -0,09 | 0,27 |
| 79 | 320 | 17,89 | 1,39 | 1,02 | 1,2 | 0,45 | 0,36 | 0,45 |
| 80 | 324 | 18,00 | 1,44 | 1,06 | 1,25 | 0,45 | 0,36 | 0,27 |
| 81 | 328 | 18,11 | 1,49 | 1,1 | 1,28 | 0,36 | 0,36 | 0,36 |
| 82 | 332 | 18,22 | 1,53 | 1,14 | 1,32 | 0,46 | 0,09 | 0,37 |
| 83 | 336 | 18,33 | 1,58 | 1,15 | 1,36 | 0,37 | 0,37 | 0,28 |
| 84 | 340 | 18,44 | 1,62 | 1,19 | 1,39 | 0,46 | 0,28 | 0,28 |
| 85 | 344 | 18,55 | 1,67 | 1,22 | 1,42 | 0,28 | 0,09 | 0,47 |
| 86 | 348 | 18,65 | 1,7 | 1,23 | 1,47 | 0,37 | 0,28 | 0,37 |
| 87 | 352 | 18,76 | 1,74 | 1,26 | 1,51 | 0,38 | 0,09 | 0,19 |
| 88 | 356 | 18,87 | 1,78 | 1,27 | 1,53 | 0,38 | 0,00 | 0,28 |
| 89 | 360 | 18,97 | 1,82 | 1,27 | 1,56 | 0,38 | 0,29 | 0,38 |
| 90 | 364 | 19,08 | 1,86 | 1,3 | 1,6 | 0,38 | 0,19 | 0,38 |
| 91 | 368 | 19,18 | 1,9 | 1,32 | 1,64 | 0,29 | 0,10 | 0,29 |
| 92 | 372 | 19,29 | 1,93 | 1,33 | 1,67 | 0,48 | 0,29 | 0,48 |
| 93 | 376 | 19,39 | 1,98 | 1,36 | 1,72 | 0,29 | 0,00 | 0,39 |
| 94 | 380 | 19,49 | 2,01 | 1,36 | 1,76 | 0,49 | 0,39 | 0,39 |
| 95 | 384 | 19,60 | 2,06 | 1,4 | 1,8 | 0,39 | 0,39 | 0,49 |

| | | | | | | | | |
|---|-----|-------|------|------|------|-------------|-------------|-------------|
| 96 | 388 | 19,70 | 2,1 | 1,44 | 1,85 | 0,49 | 0,69 | 0,39 |
| 97 | 392 | 19,80 | 2,15 | 1,51 | 1,89 | 0,50 | 1,29 | 0,50 |
| 98 | 396 | 19,90 | 2,2 | 1,64 | 1,94 | 0,20 | 0,30 | 0,30 |
| 99 | 400 | 20,00 | 2,22 | 1,67 | 1,97 | 0,60 | 0,50 | 0,50 |
| 100 | 404 | 20,10 | 2,28 | 1,72 | 2,02 | 0,30 | 0,30 | 0,40 |
| 101 | 408 | 20,20 | 2,31 | 1,75 | 2,06 | 0,51 | 0,20 | 0,61 |
| 102 | 412 | 20,30 | 2,36 | 1,77 | 2,12 | 0,31 | 0,10 | 0,31 |
| 103 | 416 | 20,40 | 2,39 | 1,78 | 2,15 | 0,51 | 0,10 | 0,61 |
| 104 | 420 | 20,49 | 2,44 | 1,79 | 2,21 | 0,31 | 0,10 | 0,21 |
| 105 | 424 | 20,59 | 2,47 | 1,8 | 2,23 | 0,41 | -0,10 | 0,52 |
| 106 | 428 | 20,69 | 2,51 | 1,79 | 2,28 | 0,41 | 0,10 | 0,31 |
| 107 | 432 | 20,78 | 2,55 | 1,8 | 2,31 | 0,31 | -0,10 | 0,42 |
| 108 | 436 | 20,88 | 2,58 | 1,79 | 2,35 | 0,31 | 0,10 | 0,31 |
| 109 | 440 | 20,98 | 2,61 | 1,8 | 2,38 | 0,42 | 0,00 | 0,32 |
| 110 | 444 | 21,07 | 2,65 | 1,8 | 2,41 | 0,42 | 0,00 | 0,21 |
| 111 | 448 | 21,17 | 2,69 | 1,8 | 2,43 | 0,32 | 0,00 | 0,42 |
| 112 | 452 | 21,26 | 2,72 | 1,8 | 2,47 | 0,32 | 0,00 | 0,32 |
| 113 | 456 | 21,35 | 2,75 | 1,8 | 2,5 | 0,32 | 0,00 | 0,21 |
| 114 | 460 | 21,45 | 2,78 | 1,8 | 2,52 | 0,43 | 0,00 | 0,32 |
| 115 | 464 | 21,54 | 2,82 | 1,8 | 2,55 | 0,32 | 0,00 | 0,32 |
| 116 | 468 | 21,63 | 2,85 | 1,8 | 2,58 | 0,33 | -0,11 | 0,11 |
| 117 | 472 | 21,73 | 2,88 | 1,79 | 2,59 | 0,11 | 0,11 | 0,22 |
| 118 | 476 | 21,82 | 2,89 | 1,8 | 2,61 | 0,44 | 0,00 | 0,44 |
| 119 | 480 | 21,91 | 2,93 | 1,8 | 2,65 | 8,34 | 2,96 | 14,05 |
| 120 | 484 | 22,00 | 3,69 | 2,07 | 3,93 | - | - | - |
| Průměrná velikost součinitele β | | | | | | 0,22 | 0,16 | 0,21 |
| Výsledná velikost součinitele β | | | | | | 0,20 | | |

*červeně vyznačené hodnoty jsou vyřazeny z měření vzhledem k jejich velké odchylce od průměru



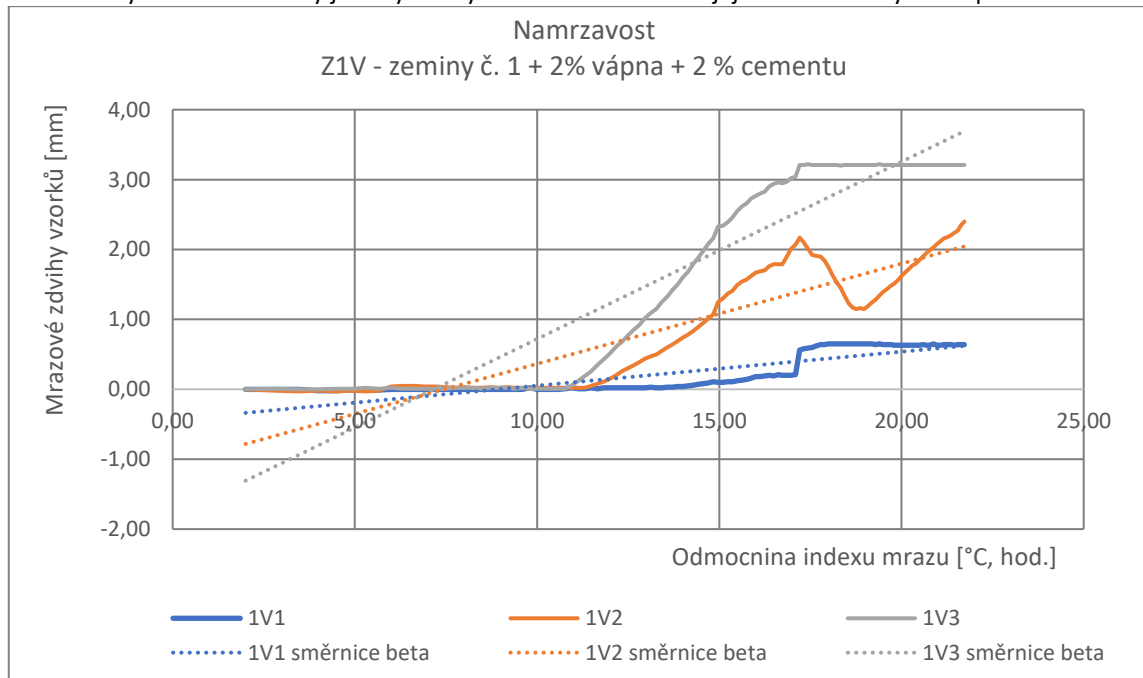
Zkoušení míry namrzavosti ČSN 72 1191

| NAMRZAVOST | | | | | | | | |
|---|-------------|------------------------|----------------|------------|------------|------------------------|-----------|-----------|
| Z1V – Zemina č. 1 + 2 % vápna 2 % cementu | | | | | | | | |
| čas | Index mrazu | Odmocnina indexu mrazu | Mrazové zdvihy | | | Součinitel namrzavosti | | |
| | | | 1V1 | 1V2 | 1V3 | 1V1 | 1V2 | 1V3 |
| hod | t_m [°C] | $\sqrt{t_m}$ [√°C] | h_1 [mm] | h_2 [mm] | h_3 [mm] | β_1 | β_2 | β_3 |
| 0 | 4 | 2,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,02 | 0,01 |
| 1 | 8 | 2,83 | 0,00 | -0,02 | 0,01 | 0,00 | -0,02 | -0,02 |
| 2 | 12 | 3,46 | 0,00 | -0,03 | 0,00 | -0,04 | 0,02 | 0,00 |
| 3 | 16 | 4,00 | -0,02 | -0,02 | 0,00 | 0,00 | -0,02 | 0,02 |
| 4 | 20 | 4,47 | -0,02 | -0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,00 |
| 5 | 24 | 4,90 | -0,01 | -0,02 | 0,01 | 0,00 | -0,03 | 0,03 |
| 6 | 28 | 5,29 | -0,01 | -0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | -0,03 |
| 7 | 32 | 5,66 | -0,01 | -0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,17 | 0,03 |
| 8 | 36 | 6,00 | 0,00 | 0,04 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | -0,03 |
| 9 | 40 | 6,32 | 0,00 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 10 | 44 | 6,63 | 0,00 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | -0,03 | 0,00 |
| 11 | 48 | 6,93 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 12 | 52 | 7,21 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,00 | -0,04 | 0,00 |
| 13 | 56 | 7,48 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | -0,04 | 0,04 |
| 14 | 60 | 7,75 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,04 | 0,00 |
| 15 | 64 | 8,00 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | -0,04 | 0,00 |
| 16 | 68 | 8,25 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | -0,04 |
| 17 | 72 | 8,49 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,04 | 0,04 |
| 18 | 76 | 8,72 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | -0,04 | 0,00 |
| 19 | 80 | 8,94 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,05 | 0,00 |
| 20 | 84 | 9,17 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | -0,05 | -0,05 |
| 21 | 88 | 9,38 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,05 |
| 22 | 92 | 9,59 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,10 | -0,05 | -0,05 |
| 23 | 96 | 9,80 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | -0,10 | 0,05 | 0,00 |
| 24 | 100 | 10,00 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25 | 104 | 10,20 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 26 | 108 | 10,39 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 27 | 112 | 10,58 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,00 | 0,00 |
| 28 | 116 | 10,77 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,00 | 0,27 |
| 29 | 120 | 10,95 | 0,02 | 0,02 | 0,06 | -0,06 | 0,00 | 0,33 |
| 30 | 124 | 11,14 | 0,01 | 0,02 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 0,39 |
| 31 | 128 | 11,31 | 0,01 | 0,02 | 0,19 | 0,06 | 0,17 | 0,40 |
| 32 | 132 | 11,49 | 0,02 | 0,05 | 0,26 | -0,06 | 0,17 | 0,52 |
| 33 | 136 | 11,66 | 0,01 | 0,08 | 0,35 | 0,06 | 0,18 | 0,47 |
| 34 | 140 | 11,83 | 0,02 | 0,11 | 0,43 | 0,00 | 0,24 | 0,48 |
| 35 | 144 | 12,00 | 0,02 | 0,15 | 0,51 | 0,00 | 0,30 | 0,60 |
| 36 | 148 | 12,17 | 0,02 | 0,20 | 0,61 | 0,00 | 0,37 | 0,43 |
| 37 | 152 | 12,33 | 0,02 | 0,26 | 0,68 | 0,00 | 0,25 | 0,56 |
| 38 | 156 | 12,49 | 0,02 | 0,30 | 0,77 | 0,00 | 0,25 | 0,50 |
| 39 | 160 | 12,65 | 0,02 | 0,34 | 0,85 | 0,00 | 0,32 | 0,45 |
| 40 | 164 | 12,81 | 0,02 | 0,39 | 0,92 | 0,00 | 0,32 | 0,64 |
| 41 | 168 | 12,96 | 0,02 | 0,44 | 1,02 | 0,07 | 0,20 | 0,46 |
| 42 | 172 | 13,11 | 0,03 | 0,47 | 1,09 | -0,07 | 0,20 | 0,40 |

| | | | | | | | | |
|----|-----|-------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 43 | 176 | 13,27 | 0,02 | 0,50 | 1,15 | 0,00 | 0,33 | 0,67 |
| 44 | 180 | 13,42 | 0,02 | 0,55 | 1,25 | 0,07 | 0,34 | 0,47 |
| 45 | 184 | 13,56 | 0,03 | 0,60 | 1,32 | 0,00 | 0,27 | 0,68 |
| 46 | 188 | 13,71 | 0,03 | 0,64 | 1,42 | 0,07 | 0,34 | 0,55 |
| 47 | 192 | 13,86 | 0,04 | 0,69 | 1,50 | 0,00 | 0,35 | 0,70 |
| 48 | 196 | 14,00 | 0,04 | 0,74 | 1,60 | 0,07 | 0,28 | 0,56 |
| 49 | 200 | 14,14 | 0,05 | 0,78 | 1,68 | 0,07 | 0,36 | 0,78 |
| 50 | 204 | 14,28 | 0,06 | 0,83 | 1,79 | 0,07 | 0,43 | 0,65 |
| 51 | 208 | 14,42 | 0,07 | 0,89 | 1,88 | 0,07 | 0,43 | 0,72 |
| 52 | 212 | 14,56 | 0,08 | 0,95 | 1,98 | 0,07 | 0,44 | 0,73 |
| 53 | 216 | 14,70 | 0,09 | 1,01 | 2,08 | 0,15 | 0,44 | 0,59 |
| 54 | 220 | 14,83 | 0,11 | 1,07 | 2,16 | -0,07 | 1,34 | 1,27 |
| 55 | 224 | 14,97 | 0,10 | 1,25 | 2,33 | 0,00 | 0,38 | 0,08 |
| 56 | 228 | 15,10 | 0,10 | 1,30 | 2,34 | 0,08 | 0,53 | 0,38 |
| 57 | 232 | 15,23 | 0,11 | 1,37 | 2,39 | 0,00 | 0,31 | 0,54 |
| 58 | 236 | 15,36 | 0,11 | 1,41 | 2,46 | 0,08 | 0,62 | 0,69 |
| 59 | 240 | 15,49 | 0,12 | 1,49 | 2,55 | 0,08 | 0,39 | 0,54 |
| 60 | 244 | 15,62 | 0,13 | 1,54 | 2,62 | 0,08 | 0,24 | 0,31 |
| 61 | 248 | 15,75 | 0,14 | 1,57 | 2,66 | 0,16 | 0,40 | 0,55 |
| 62 | 252 | 15,87 | 0,16 | 1,62 | 2,73 | 0,16 | 0,40 | 0,32 |
| 63 | 256 | 16,00 | 0,18 | 1,67 | 2,77 | 0,00 | 0,16 | 0,24 |
| 64 | 260 | 16,12 | 0,18 | 1,69 | 2,80 | 0,08 | 0,08 | 0,24 |
| 65 | 264 | 16,25 | 0,19 | 1,70 | 2,83 | 0,08 | 0,49 | 0,57 |
| 66 | 268 | 16,37 | 0,20 | 1,76 | 2,90 | -0,08 | 0,25 | 0,33 |
| 67 | 272 | 16,49 | 0,19 | 1,79 | 2,94 | 0,17 | 0,00 | 0,17 |
| 68 | 276 | 16,61 | 0,21 | 1,79 | 2,96 | -0,08 | 0,00 | -0,08 |
| 69 | 280 | 16,73 | 0,20 | 1,79 | 2,95 | 0,00 | 0,92 | 0,17 |
| 70 | 284 | 16,85 | 0,20 | 1,90 | 2,97 | 0,00 | 0,93 | 0,42 |
| 71 | 288 | 16,97 | 0,20 | 2,01 | 3,02 | 0,09 | 0,51 | 0,17 |
| 72 | 292 | 17,09 | 0,21 | 2,07 | 3,04 | 3,00 | 0,86 | 1,46 |
| 73 | 296 | 17,20 | 0,56 | 2,17 | 3,21 | 0,17 | -0,60 | 0,00 |
| 74 | 300 | 17,32 | 0,58 | 2,10 | 3,21 | 0,09 | -0,78 | 0,09 |
| 75 | 304 | 17,44 | 0,59 | 2,01 | 3,22 | 0,09 | -0,79 | -0,09 |
| 76 | 308 | 17,55 | 0,60 | 1,92 | 3,21 | 0,18 | -0,09 | 0,00 |
| 77 | 312 | 17,66 | 0,62 | 1,91 | 3,21 | 0,18 | -0,09 | 0,00 |
| 78 | 316 | 17,78 | 0,64 | 1,90 | 3,21 | 0,00 | -0,53 | 0,00 |
| 79 | 320 | 17,89 | 0,64 | 1,84 | 3,21 | 0,09 | -0,81 | 0,00 |
| 80 | 324 | 18,00 | 0,65 | 1,75 | 3,21 | 0,00 | -1,08 | 0,00 |
| 81 | 328 | 18,11 | 0,65 | 1,63 | 3,21 | 0,00 | -0,91 | 0,00 |
| 82 | 332 | 18,22 | 0,65 | 1,53 | 3,21 | 0,00 | -0,73 | -0,09 |
| 83 | 336 | 18,33 | 0,65 | 1,45 | 3,20 | 0,00 | -1,01 | 0,09 |
| 84 | 340 | 18,44 | 0,65 | 1,34 | 3,21 | 0,00 | -1,02 | 0,00 |
| 85 | 344 | 18,55 | 0,65 | 1,23 | 3,21 | 0,00 | -0,56 | 0,00 |
| 86 | 348 | 18,65 | 0,65 | 1,17 | 3,21 | 0,00 | -0,19 | 0,00 |
| 87 | 352 | 18,76 | 0,65 | 1,15 | 3,21 | 0,00 | 0,09 | 0,00 |
| 88 | 356 | 18,87 | 0,65 | 1,16 | 3,21 | 0,00 | -0,09 | 0,00 |
| 89 | 360 | 18,97 | 0,65 | 1,15 | 3,21 | 0,00 | 0,38 | 0,00 |
| 90 | 364 | 19,08 | 0,65 | 1,19 | 3,21 | 0,00 | 0,48 | 0,00 |
| 91 | 368 | 19,18 | 0,65 | 1,24 | 3,21 | -0,10 | 0,38 | 0,00 |
| 92 | 372 | 19,29 | 0,64 | 1,28 | 3,21 | 0,10 | 0,58 | 0,10 |
| 93 | 376 | 19,39 | 0,65 | 1,34 | 3,22 | -0,10 | 0,49 | -0,10 |
| 94 | 380 | 19,49 | 0,64 | 1,39 | 3,21 | 0,00 | 0,39 | 0,00 |
| 95 | 384 | 19,60 | 0,64 | 1,43 | 3,21 | 0,00 | 0,49 | 0,00 |
| 96 | 388 | 19,70 | 0,64 | 1,48 | 3,21 | -0,10 | 0,30 | 0,00 |
| 97 | 392 | 19,80 | 0,63 | 1,51 | 3,21 | 0,00 | 0,50 | 0,00 |

| | | | | | | | | |
|---|-----|-------|------|------|------|-------------|-------------|-------------|
| 98 | 396 | 19,90 | 0,63 | 1,56 | 3,21 | 0,00 | 0,60 | 0,00 |
| 99 | 400 | 20,00 | 0,63 | 1,62 | 3,21 | 0,00 | 0,50 | 0,00 |
| 100 | 404 | 20,10 | 0,63 | 1,67 | 3,21 | 0,00 | 0,50 | 0,00 |
| 101 | 408 | 20,20 | 0,63 | 1,72 | 3,21 | 0,00 | 0,51 | 0,00 |
| 102 | 412 | 20,30 | 0,63 | 1,77 | 3,21 | 0,00 | 0,31 | 0,00 |
| 103 | 416 | 20,40 | 0,63 | 1,80 | 3,21 | 0,00 | 0,51 | 0,00 |
| 104 | 420 | 20,49 | 0,63 | 1,85 | 3,21 | 0,10 | 0,51 | 0,00 |
| 105 | 424 | 20,59 | 0,64 | 1,90 | 3,21 | -0,10 | 0,52 | 0,00 |
| 106 | 428 | 20,69 | 0,63 | 1,95 | 3,21 | 0,00 | 0,41 | 0,00 |
| 107 | 432 | 20,78 | 0,63 | 1,99 | 3,21 | 0,21 | 0,42 | 0,00 |
| 108 | 436 | 20,88 | 0,65 | 2,03 | 3,21 | -0,21 | 0,52 | 0,00 |
| 109 | 440 | 20,98 | 0,63 | 2,08 | 3,21 | 0,00 | 0,42 | 0,00 |
| 110 | 444 | 21,07 | 0,63 | 2,12 | 3,21 | 0,11 | 0,42 | 0,00 |
| 111 | 448 | 21,17 | 0,64 | 2,16 | 3,21 | 0,00 | 0,21 | 0,00 |
| 112 | 452 | 21,26 | 0,64 | 2,18 | 3,21 | 0,00 | 0,21 | 0,00 |
| 113 | 456 | 21,35 | 0,64 | 2,20 | 3,21 | -0,11 | 0,43 | 0,00 |
| 114 | 460 | 21,45 | 0,63 | 2,24 | 3,21 | 0,11 | 0,32 | 0,00 |
| 115 | 464 | 21,54 | 0,64 | 2,27 | 3,21 | 0,00 | 0,86 | 0,00 |
| 116 | 468 | 21,63 | 0,64 | 2,35 | 3,21 | 0,00 | 0,54 | 0,00 |
| 117 | 472 | 21,73 | 0,64 | 2,40 | 3,21 | -0,11 | 0,44 | 0,00 |
| 118 | 476 | 21,82 | 0,63 | 2,44 | 3,21 | 6,56 | 4,59 | -9,07 |
| 119 | 480 | 21,91 | 1,23 | 2,86 | 2,38 | 14,38 | 1,21 | 2,31 |
| 120 | 484 | 22,00 | 2,54 | 2,97 | 2,59 | - | - | - |
| Průměrná velikost součinitele β | | | | | | 0,04 | 0,17 | 0,19 |
| Výsledná velikost součinitele β | | | | | | 0,18 | | |

*červeně vyznačené hodnoty jsou vyřazeny z měření vzhledem k jejich velké odchylce od průměru

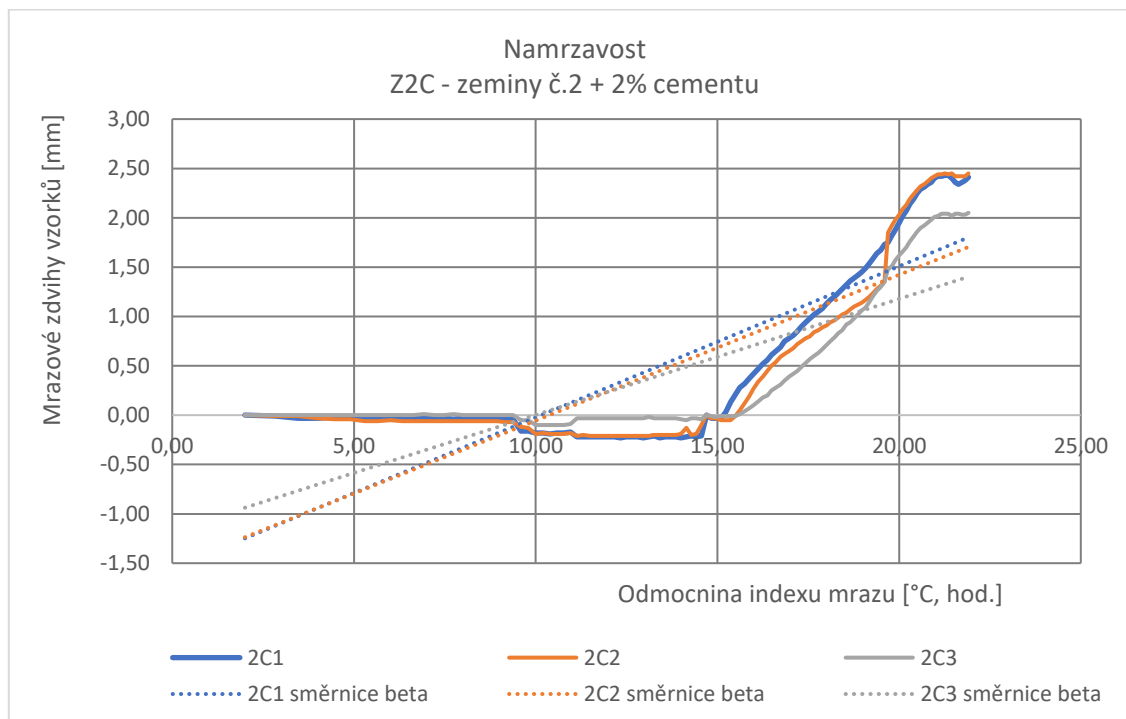


Zkoušení míry namrzavosti ČSN 72 1191

| NAMRZAVOST | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------|------------------------|----------------|------------|------------|------------------------|-----------|-----------|
| Z2C – Zemina č.2 + 2 % cementu | | | | | | | | |
| čas | Index mrazu | Odmocnina indexu mrazu | Mrazové zdvihy | | | Součinitel namrzavosti | | |
| | | | 2C1 | 2C2 | 2C3 | 2C1 | 2C2 | 2C3 |
| hod | I_m [°C] | $\sqrt{I_m}$ [°C] | h_1 [mm] | h_2 [mm] | h_3 [mm] | β_1 | β_2 | β_3 |
| 0 | 4 | 2,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,01 | -0,01 | 0,00 |
| 1 | 8 | 2,83 | -0,01 | -0,01 | 0,00 | -0,03 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 12 | 3,46 | -0,03 | -0,01 | 0,00 | 0,00 | -0,04 | 0,00 |
| 3 | 16 | 4,00 | -0,03 | -0,03 | 0,00 | 0,02 | -0,02 | 0,00 |
| 4 | 20 | 4,47 | -0,02 | -0,04 | 0,00 | -0,02 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 24 | 4,90 | -0,03 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | -0,05 | 0,00 |
| 6 | 28 | 5,29 | -0,03 | -0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | 32 | 5,66 | -0,03 | -0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 |
| 8 | 36 | 6,00 | -0,03 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | -0,03 | 0,00 |
| 9 | 40 | 6,32 | -0,03 | -0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 10 | 44 | 6,63 | -0,03 | -0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 |
| 11 | 48 | 6,93 | -0,03 | -0,06 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | -0,04 |
| 12 | 52 | 7,21 | -0,03 | -0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 13 | 56 | 7,48 | -0,03 | -0,06 | 0,00 | -0,04 | 0,00 | 0,04 |
| 14 | 60 | 7,75 | -0,04 | -0,06 | 0,01 | 0,04 | 0,00 | -0,04 |
| 15 | 64 | 8,00 | -0,03 | -0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 16 | 68 | 8,25 | -0,03 | -0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 17 | 72 | 8,49 | -0,03 | -0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 18 | 76 | 8,72 | -0,03 | -0,06 | 0,00 | -0,04 | 0,00 | 0,00 |
| 19 | 80 | 8,94 | -0,04 | -0,06 | 0,00 | 0,00 | -0,05 | 0,00 |
| 20 | 84 | 9,17 | -0,04 | -0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 21 | 88 | 9,38 | -0,04 | -0,07 | 0,00 | -0,57 | -0,24 | -0,24 |
| 22 | 92 | 9,59 | -0,16 | -0,12 | -0,05 | 0,00 | -0,05 | 0,00 |
| 23 | 96 | 9,80 | -0,16 | -0,13 | -0,05 | -0,10 | -0,30 | -0,25 |
| 24 | 100 | 10,00 | -0,18 | -0,19 | -0,10 | 0,00 | 0,05 | 0,00 |
| 25 | 104 | 10,20 | -0,18 | -0,18 | -0,10 | -0,05 | -0,05 | 0,00 |
| 26 | 108 | 10,39 | -0,19 | -0,19 | -0,10 | 0,05 | 0,00 | 0,00 |
| 27 | 112 | 10,58 | -0,18 | -0,19 | -0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 28 | 116 | 10,77 | -0,18 | -0,19 | -0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 29 | 120 | 10,95 | -0,17 | -0,18 | -0,09 | -0,28 | -0,17 | 0,33 |
| 30 | 124 | 11,14 | -0,22 | -0,21 | -0,03 | 0,00 | 0,06 | 0,00 |
| 31 | 128 | 11,31 | -0,22 | -0,20 | -0,03 | 0,00 | -0,06 | 0,00 |
| 32 | 132 | 11,49 | -0,22 | -0,21 | -0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 33 | 136 | 11,66 | -0,22 | -0,21 | -0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 34 | 140 | 11,83 | -0,22 | -0,21 | -0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 35 | 144 | 12,00 | -0,22 | -0,21 | -0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 36 | 148 | 12,17 | -0,22 | -0,21 | -0,03 | -0,06 | 0,00 | 0,00 |
| 37 | 152 | 12,33 | -0,23 | -0,21 | -0,03 | 0,06 | 0,00 | 0,00 |
| 38 | 156 | 12,49 | -0,22 | -0,21 | -0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 39 | 160 | 12,65 | -0,22 | -0,21 | -0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 40 | 164 | 12,81 | -0,22 | -0,21 | -0,03 | -0,06 | 0,00 | 0,00 |

| | | | | | | | | |
|----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 41 | 168 | 12,96 | -0,23 | -0,21 | -0,03 | 0,07 | 0,00 | 0,07 |
| 42 | 172 | 13,11 | -0,22 | -0,21 | -0,02 | 0,07 | 0,07 | -0,07 |
| 43 | 176 | 13,27 | -0,21 | -0,20 | -0,03 | -0,13 | 0,00 | 0,00 |
| 44 | 180 | 13,42 | -0,23 | -0,20 | -0,03 | 0,07 | 0,00 | 0,00 |
| 45 | 184 | 13,56 | -0,22 | -0,20 | -0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 46 | 188 | 13,71 | -0,22 | -0,20 | -0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 47 | 192 | 13,86 | -0,22 | -0,20 | -0,03 | -0,07 | 0,07 | -0,07 |
| 48 | 196 | 14,00 | -0,23 | -0,19 | -0,04 | 0,07 | 0,42 | -0,07 |
| 49 | 200 | 14,14 | -0,22 | -0,13 | -0,05 | 0,07 | -0,50 | 0,14 |
| 50 | 204 | 14,28 | -0,21 | -0,20 | -0,03 | -0,07 | 0,07 | 0,00 |
| 51 | 208 | 14,42 | -0,22 | -0,19 | -0,03 | 0,07 | 0,65 | -0,07 |
| 52 | 212 | 14,56 | -0,21 | -0,10 | -0,04 | 1,54 | 0,73 | 0,29 |
| 53 | 216 | 14,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,22 | -0,22 | -0,07 |
| 54 | 220 | 14,83 | -0,03 | -0,03 | -0,01 | 0,00 | 0,00 | -0,07 |
| 55 | 224 | 14,97 | -0,03 | -0,03 | -0,02 | 0,00 | -0,15 | 0,08 |
| 56 | 228 | 15,10 | -0,03 | -0,05 | -0,01 | 0,45 | 0,00 | 0,00 |
| 57 | 232 | 15,23 | 0,03 | -0,05 | -0,01 | 0,76 | 0,00 | 0,00 |
| 58 | 236 | 15,36 | 0,13 | -0,05 | -0,01 | 0,62 | 0,31 | 0,00 |
| 59 | 240 | 15,49 | 0,21 | -0,01 | -0,01 | 0,54 | 0,47 | 0,16 |
| 60 | 244 | 15,62 | 0,28 | 0,05 | 0,01 | 0,31 | 0,55 | 0,24 |
| 61 | 248 | 15,75 | 0,32 | 0,12 | 0,04 | 0,40 | 0,55 | 0,24 |
| 62 | 252 | 15,87 | 0,37 | 0,19 | 0,07 | 0,40 | 0,64 | 0,24 |
| 63 | 256 | 16,00 | 0,42 | 0,27 | 0,10 | 0,40 | 0,56 | 0,32 |
| 64 | 260 | 16,12 | 0,47 | 0,34 | 0,14 | 0,40 | 0,40 | 0,32 |
| 65 | 264 | 16,25 | 0,52 | 0,39 | 0,18 | 0,33 | 0,49 | 0,16 |
| 66 | 268 | 16,37 | 0,56 | 0,45 | 0,20 | 0,41 | 0,41 | 0,41 |
| 67 | 272 | 16,49 | 0,61 | 0,50 | 0,25 | 0,33 | 0,33 | 0,25 |
| 68 | 276 | 16,61 | 0,65 | 0,54 | 0,28 | 0,33 | 0,42 | 0,25 |
| 69 | 280 | 16,73 | 0,69 | 0,59 | 0,31 | 0,50 | 0,25 | 0,34 |
| 70 | 284 | 16,85 | 0,75 | 0,62 | 0,35 | 0,25 | 0,25 | 0,34 |
| 71 | 288 | 16,97 | 0,78 | 0,65 | 0,39 | 0,26 | 0,26 | 0,26 |
| 72 | 292 | 17,09 | 0,81 | 0,68 | 0,42 | 0,34 | 0,34 | 0,26 |
| 73 | 296 | 17,20 | 0,85 | 0,72 | 0,45 | 0,43 | 0,26 | 0,35 |
| 74 | 300 | 17,32 | 0,90 | 0,75 | 0,49 | 0,35 | 0,26 | 0,35 |
| 75 | 304 | 17,44 | 0,94 | 0,78 | 0,53 | 0,35 | 0,17 | 0,35 |
| 76 | 308 | 17,55 | 0,98 | 0,80 | 0,57 | 0,35 | 0,35 | 0,26 |
| 77 | 312 | 17,66 | 1,02 | 0,84 | 0,60 | 0,27 | 0,18 | 0,27 |
| 78 | 316 | 17,78 | 1,05 | 0,86 | 0,63 | 0,27 | 0,27 | 0,36 |
| 79 | 320 | 17,89 | 1,08 | 0,89 | 0,67 | 0,45 | 0,18 | 0,36 |
| 80 | 324 | 18,00 | 1,13 | 0,91 | 0,71 | 0,36 | 0,27 | 0,36 |
| 81 | 328 | 18,11 | 1,17 | 0,94 | 0,75 | 0,27 | 0,18 | 0,36 |
| 82 | 332 | 18,22 | 1,20 | 0,96 | 0,79 | 0,37 | 0,27 | 0,37 |
| 83 | 336 | 18,33 | 1,24 | 0,99 | 0,83 | 0,37 | 0,28 | 0,28 |
| 84 | 340 | 18,44 | 1,28 | 1,02 | 0,86 | 0,37 | 0,18 | 0,55 |
| 85 | 344 | 18,55 | 1,32 | 1,04 | 0,92 | 0,37 | 0,28 | 0,19 |
| 86 | 348 | 18,65 | 1,36 | 1,07 | 0,94 | 0,28 | 0,28 | 0,37 |
| 87 | 352 | 18,76 | 1,39 | 1,10 | 0,98 | 0,28 | 0,19 | 0,38 |
| 88 | 356 | 18,87 | 1,42 | 1,12 | 1,02 | 0,28 | 0,19 | 0,38 |
| 89 | 360 | 18,97 | 1,45 | 1,14 | 1,06 | 0,38 | 0,29 | 0,29 |
| 90 | 364 | 19,08 | 1,49 | 1,17 | 1,09 | 0,48 | 0,29 | 0,57 |
| 91 | 368 | 19,18 | 1,54 | 1,20 | 1,15 | 0,48 | 0,38 | 0,58 |
| 92 | 372 | 19,29 | 1,59 | 1,24 | 1,21 | 0,48 | 0,39 | 0,48 |
| 93 | 376 | 19,39 | 1,64 | 1,28 | 1,26 | 0,29 | 0,29 | 0,39 |
| 94 | 380 | 19,49 | 1,67 | 1,31 | 1,30 | 0,59 | 0,39 | 0,49 |
| 95 | 384 | 19,60 | 1,73 | 1,35 | 1,35 | 0,20 | 4,91 | 1,28 |

| | | | | | | | | |
|---|-----|-------|------|------|------|-------------|-------------|-------------|
| 96 | 388 | 19,70 | 1,75 | 1,85 | 1,48 | 0,69 | 0,69 | 0,30 |
| 97 | 392 | 19,80 | 1,82 | 1,92 | 1,51 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| 98 | 396 | 19,90 | 1,88 | 1,98 | 1,57 | 0,70 | 0,50 | 0,50 |
| 99 | 400 | 20,00 | 1,95 | 2,03 | 1,62 | 0,70 | 0,60 | 0,40 |
| 100 | 404 | 20,10 | 2,02 | 2,09 | 1,66 | 0,50 | 0,40 | 0,40 |
| 101 | 408 | 20,20 | 2,07 | 2,13 | 1,70 | 0,71 | 0,61 | 0,61 |
| 102 | 412 | 20,30 | 2,14 | 2,19 | 1,76 | 0,51 | 0,51 | 0,51 |
| 103 | 416 | 20,40 | 2,19 | 2,24 | 1,81 | 0,61 | 0,41 | 0,51 |
| 104 | 420 | 20,49 | 2,25 | 2,28 | 1,86 | 0,41 | 0,41 | 0,41 |
| 105 | 424 | 20,59 | 2,29 | 2,32 | 1,90 | 0,21 | 0,21 | 0,21 |
| 106 | 428 | 20,69 | 2,31 | 2,34 | 1,92 | 0,31 | 0,31 | 0,31 |
| 107 | 432 | 20,78 | 2,34 | 2,37 | 1,95 | 0,21 | 0,31 | 0,31 |
| 108 | 436 | 20,88 | 2,36 | 2,40 | 1,98 | 0,42 | 0,21 | 0,31 |
| 109 | 440 | 20,98 | 2,40 | 2,42 | 2,01 | 0,21 | 0,21 | 0,11 |
| 110 | 444 | 21,07 | 2,42 | 2,44 | 2,02 | 0,00 | 0,00 | 0,21 |
| 111 | 448 | 21,17 | 2,42 | 2,44 | 2,04 | 0,11 | 0,11 | 0,00 |
| 112 | 452 | 21,26 | 2,43 | 2,45 | 2,04 | 0,00 | -0,11 | 0,00 |
| 113 | 456 | 21,35 | 2,43 | 2,44 | 2,04 | -0,32 | 0,11 | -0,21 |
| 114 | 460 | 21,45 | 2,40 | 2,45 | 2,02 | -0,43 | -0,32 | 0,21 |
| 115 | 464 | 21,54 | 2,36 | 2,42 | 2,04 | -0,22 | 0,00 | 0,00 |
| 116 | 468 | 21,63 | 2,34 | 2,42 | 2,04 | 0,22 | 0,00 | -0,11 |
| 117 | 472 | 21,73 | 2,36 | 2,42 | 2,03 | 0,22 | 0,00 | 0,00 |
| 118 | 476 | 21,82 | 2,38 | 2,42 | 2,03 | 0,33 | 0,33 | 0,22 |
| 119 | 480 | 21,91 | 2,41 | 2,45 | 2,05 | 0,44 | 0,44 | 0,55 |
| 120 | 484 | 22,00 | 2,45 | 2,49 | 2,10 | - | - | - |
| Průměrná velikost součinitele β | | | | | | 0,19 | 0,20 | 0,16 |
| Výsledná velikost součinitele β | | | | | | 0,18 | | |



Zkoušení míry namrzavosti ČSN 72 1191

| NAMRZAVOST | | | | | | | | |
|---|-------------|------------------------|----------------|------------|------------|------------------------|-----------|-----------|
| Z2V – Zemina č. 2 + 2 % vápna + 2 % cementu | | | | | | | | |
| čas | Index mrazu | Odmocnina indexu mrazu | Mrazové zdvihy | | | Součinitel namrzavosti | | |
| | | | 2V2 | 2V3 | 2V4 | 2V2 | 2V3 | 2V4 |
| hod | I_m [°C] | $\sqrt{I_m}$ [°C] | h_1 [mm] | h_2 [mm] | h_3 [mm] | β_1 | β_2 | β_3 |
| 0 | 4 | 2,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,00 | -0,01 | 0,01 |
| 1 | 8 | 2,83 | 0,000 | -0,010 | 0,010 | 0,00 | 0,00 | -0,02 |
| 2 | 12 | 3,46 | 0,000 | -0,010 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 16 | 4,00 | 0,000 | -0,010 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 20 | 4,47 | 0,000 | -0,010 | 0,000 | 0,00 | -0,02 | 0,00 |
| 5 | 24 | 4,90 | 0,000 | -0,020 | 0,000 | 0,00 | 0,03 | 0,00 |
| 6 | 28 | 5,29 | 0,000 | -0,010 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | 32 | 5,66 | 0,000 | -0,010 | 0,000 | 0,03 | 0,00 | 0,03 |
| 8 | 36 | 6,00 | 0,010 | -0,010 | 0,010 | -0,03 | -0,03 | 0,00 |
| 9 | 40 | 6,32 | 0,000 | -0,020 | 0,010 | 0,00 | 0,00 | -0,03 |
| 10 | 44 | 6,63 | 0,000 | -0,020 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 11 | 48 | 6,93 | 0,000 | -0,020 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 12 | 52 | 7,21 | 0,000 | -0,020 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,04 |
| 13 | 56 | 7,48 | 0,000 | -0,020 | 0,010 | 0,00 | 0,00 | -0,04 |
| 14 | 60 | 7,75 | 0,000 | -0,020 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,04 |
| 15 | 64 | 8,00 | 0,000 | -0,020 | 0,010 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 16 | 68 | 8,25 | 0,000 | -0,020 | 0,010 | 0,00 | 0,00 | 0,04 |
| 17 | 72 | 8,49 | 0,000 | -0,020 | 0,020 | 0,04 | 0,00 | -0,04 |
| 18 | 76 | 8,72 | 0,010 | -0,020 | 0,010 | -0,04 | 0,00 | 0,00 |
| 19 | 80 | 8,94 | 0,000 | -0,020 | 0,010 | 0,00 | 0,00 | -0,05 |
| 20 | 84 | 9,17 | 0,000 | -0,020 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 21 | 88 | 9,38 | 0,000 | -0,020 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 22 | 92 | 9,59 | 0,000 | -0,020 | 0,000 | -0,05 | 0,00 | 0,00 |
| 23 | 96 | 9,80 | -0,010 | -0,020 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 24 | 100 | 10,00 | -0,010 | -0,020 | 0,000 | 0,05 | -0,05 | 0,00 |
| 25 | 104 | 10,20 | 0,000 | -0,030 | 0,000 | -0,05 | -0,31 | -0,98 |
| 26 | 108 | 10,39 | -0,010 | -0,090 | -0,190 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 27 | 112 | 10,58 | -0,010 | -0,090 | -0,190 | 0,05 | 0,05 | -0,05 |
| 28 | 116 | 10,77 | 0,000 | -0,080 | -0,200 | -0,05 | -0,05 | 0,00 |
| 29 | 120 | 10,95 | -0,010 | -0,090 | -0,200 | 0,06 | 0,06 | 0,11 |
| 30 | 124 | 11,14 | 0,000 | -0,080 | -0,180 | 0,06 | 0,00 | -0,06 |
| 31 | 128 | 11,31 | 0,010 | -0,080 | -0,190 | -0,06 | -0,06 | -0,06 |
| 32 | 132 | 11,49 | 0,000 | -0,090 | -0,200 | -0,06 | -0,12 | 1,16 |
| 33 | 136 | 11,66 | -0,010 | -0,110 | 0,000 | 0,06 | 0,12 | 0,06 |
| 34 | 140 | 11,83 | 0,000 | -0,090 | 0,010 | 0,00 | 0,06 | 0,00 |
| 35 | 144 | 12,00 | 0,000 | -0,080 | 0,010 | -0,18 | 0,00 | 0,00 |
| 36 | 148 | 12,17 | -0,030 | -0,080 | 0,010 | 0,18 | -0,12 | 0,00 |
| 37 | 152 | 12,33 | 0,000 | -0,100 | 0,010 | 0,00 | 0,12 | -0,06 |
| 38 | 156 | 12,49 | 0,000 | -0,080 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 39 | 160 | 12,65 | 0,000 | -0,080 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 40 | 164 | 12,81 | 0,000 | -0,080 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

| | | | | | | | | |
|----|-----|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 41 | 168 | 12,96 | 0,000 | -0,080 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 42 | 172 | 13,11 | 0,000 | -0,080 | 0,000 | 0,00 | 0,07 | 0,07 |
| 43 | 176 | 13,27 | 0,000 | -0,070 | 0,010 | 0,00 | 0,00 | -0,07 |
| 44 | 180 | 13,42 | 0,000 | -0,070 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 45 | 184 | 13,56 | 0,000 | -0,070 | 0,000 | -0,07 | 0,20 | 0,00 |
| 46 | 188 | 13,71 | -0,010 | -0,040 | 0,000 | 0,07 | 0,21 | 0,00 |
| 47 | 192 | 13,86 | 0,000 | -0,010 | 0,000 | -0,07 | 0,28 | 0,00 |
| 48 | 196 | 14,00 | -0,010 | 0,030 | 0,000 | 0,00 | 0,28 | 0,00 |
| 49 | 200 | 14,14 | -0,010 | 0,070 | 0,000 | 0,07 | 0,36 | 0,00 |
| 50 | 204 | 14,28 | 0,000 | 0,120 | 0,000 | 0,00 | 0,36 | 0,00 |
| 51 | 208 | 14,42 | 0,000 | 0,170 | 0,000 | 0,65 | 0,29 | 0,00 |
| 52 | 212 | 14,56 | 0,090 | 0,210 | 0,000 | 0,29 | 0,29 | 0,00 |
| 53 | 216 | 14,70 | 0,130 | 0,250 | 0,000 | 0,22 | 0,30 | 0,07 |
| 54 | 220 | 14,83 | 0,160 | 0,290 | 0,010 | 0,30 | 0,22 | 0,00 |
| 55 | 224 | 14,97 | 0,200 | 0,320 | 0,010 | 0,08 | 0,23 | 0,08 |
| 56 | 228 | 15,10 | 0,210 | 0,350 | 0,020 | 0,15 | 0,15 | -0,08 |
| 57 | 232 | 15,23 | 0,230 | 0,370 | 0,010 | 0,23 | 0,15 | 0,00 |
| 58 | 236 | 15,36 | 0,260 | 0,390 | 0,010 | 0,15 | 0,23 | -0,08 |
| 59 | 240 | 15,49 | 0,280 | 0,420 | 0,000 | 0,00 | 0,16 | 0,00 |
| 60 | 244 | 15,62 | 0,280 | 0,440 | 0,000 | 0,08 | 0,08 | 0,00 |
| 61 | 248 | 15,75 | 0,290 | 0,450 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,16 |
| 62 | 252 | 15,87 | 0,290 | 0,450 | 0,020 | 0,00 | 0,08 | -0,08 |
| 63 | 256 | 16,00 | 0,290 | 0,460 | 0,010 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 64 | 260 | 16,12 | 0,290 | 0,460 | 0,010 | 0,00 | -0,08 | -0,08 |
| 65 | 264 | 16,25 | 0,290 | 0,450 | 0,000 | 0,08 | 0,24 | 0,00 |
| 66 | 268 | 16,37 | 0,300 | 0,480 | 0,000 | 0,49 | 0,41 | 0,08 |
| 67 | 272 | 16,49 | 0,360 | 0,530 | 0,010 | 0,33 | 0,33 | -0,08 |
| 68 | 276 | 16,61 | 0,400 | 0,570 | 0,000 | 0,50 | 0,50 | 0,08 |
| 69 | 280 | 16,73 | 0,460 | 0,630 | 0,010 | 0,42 | 0,42 | -0,08 |
| 70 | 284 | 16,85 | 0,510 | 0,680 | 0,000 | 0,51 | 0,51 | 0,00 |
| 71 | 288 | 16,97 | 0,570 | 0,740 | 0,000 | 0,43 | 0,60 | 0,09 |
| 72 | 292 | 17,09 | 0,620 | 0,810 | 0,010 | 0,51 | 0,51 | -0,09 |
| 73 | 296 | 17,20 | 0,680 | 0,870 | 0,000 | 0,35 | 0,60 | 0,00 |
| 74 | 300 | 17,32 | 0,720 | 0,940 | 0,000 | 0,26 | 0,52 | 0,09 |
| 75 | 304 | 17,44 | 0,750 | 1,000 | 0,010 | 0,52 | 0,44 | 0,09 |
| 76 | 308 | 17,55 | 0,810 | 1,050 | 0,020 | 0,44 | 0,44 | -0,09 |
| 77 | 312 | 17,66 | 0,860 | 1,100 | 0,010 | 0,09 | 0,27 | 0,09 |
| 78 | 316 | 17,78 | 0,870 | 1,130 | 0,020 | 0,27 | 0,36 | -0,18 |
| 79 | 320 | 17,89 | 0,900 | 1,170 | 0,000 | 0,18 | 0,18 | 0,00 |
| 80 | 324 | 18,00 | 0,920 | 1,190 | 0,000 | 0,18 | 0,18 | 0,18 |
| 81 | 328 | 18,11 | 0,940 | 1,210 | 0,020 | 0,00 | 0,09 | 0,00 |
| 82 | 332 | 18,22 | 0,940 | 1,220 | 0,020 | -0,09 | -0,09 | 0,09 |
| 83 | 336 | 18,33 | 0,930 | 1,210 | 0,030 | 0,00 | 0,00 | 0,18 |
| 84 | 340 | 18,44 | 0,930 | 1,210 | 0,050 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 85 | 344 | 18,55 | 0,940 | 1,220 | 0,060 | 0,37 | 0,00 | 0,37 |
| 86 | 348 | 18,65 | 0,980 | 1,220 | 0,100 | 0,28 | 0,00 | 0,19 |
| 87 | 352 | 18,76 | 1,010 | 1,220 | 0,120 | 0,09 | 0,00 | 0,19 |
| 88 | 356 | 18,87 | 1,020 | 1,220 | 0,140 | 0,00 | 0,00 | 0,09 |
| 89 | 360 | 18,97 | 1,020 | 1,220 | 0,150 | 0,00 | 0,00 | 0,10 |
| 90 | 364 | 19,08 | 1,020 | 1,220 | 0,160 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 91 | 368 | 19,18 | 1,020 | 1,220 | 0,160 | 0,10 | 0,00 | 0,19 |
| 92 | 372 | 19,29 | 1,030 | 1,220 | 0,180 | -0,10 | 0,00 | -0,10 |
| 93 | 376 | 19,39 | 1,020 | 1,220 | 0,170 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 94 | 380 | 19,49 | 1,020 | 1,220 | 0,170 | 0,10 | 0,00 | 0,10 |
| 95 | 384 | 19,60 | 1,030 | 1,220 | 0,180 | -0,10 | 0,00 | 0,10 |

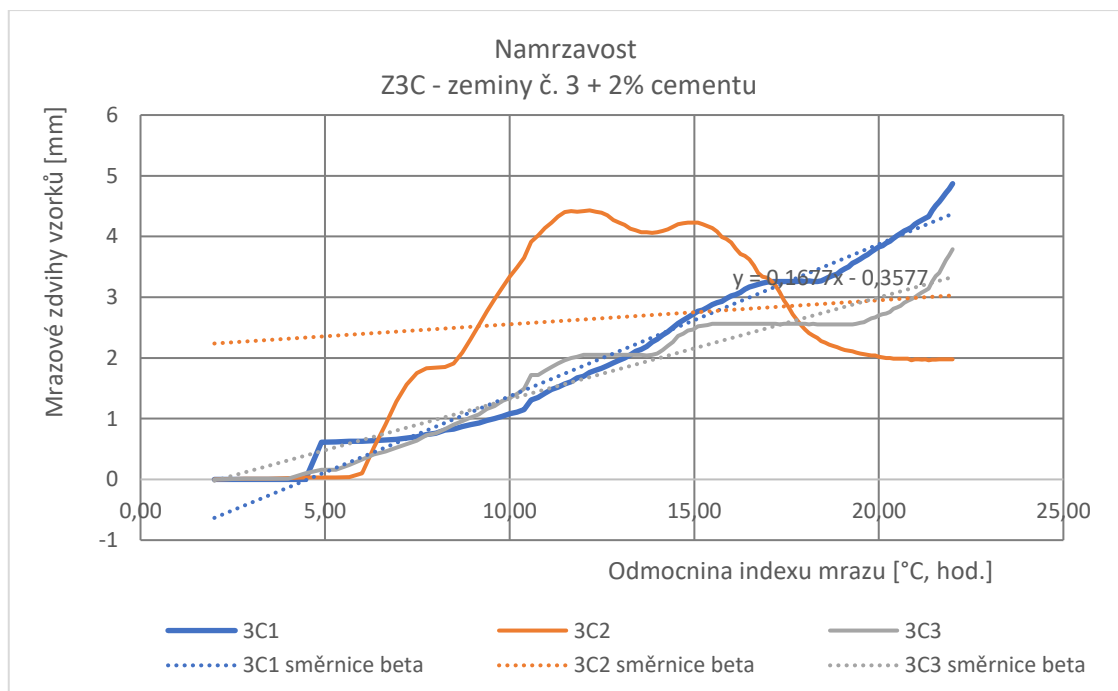
Zkoušení míry namrzavosti ČSN 72 1191

| NAMRZAVOST | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------|------------------------|----------------|------------|------------|------------------------|-----------|-----------|
| Z3C – Zemina č.3 + 2 % cementu | | | | | | | | |
| čas | Index mrazu | Odmocnina indexu mrazu | Mrazové zdvihy | | | Součinitel namrzavosti | | |
| | | | 3C1 | 3C2 | 3C3 | 3C1 | 3C2 | 3C3 |
| hod | I_m [°C] | $\sqrt{I_m}$ [°C] | h_1 [mm] | h_2 [mm] | h_3 [mm] | β_1 | β_2 | β_3 |
| 0 | 4 | 2,00 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| 1 | 8 | 2,83 | 0 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 12 | 3,46 | 0 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,00 |
| 3 | 16 | 4,00 | 0 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,19 |
| 4 | 20 | 4,47 | 0 | 0,03 | 0,1 | 1,43 | 0,00 | 0,14 |
| 5 | 24 | 4,90 | 0,61 | 0,03 | 0,16 | 0,03 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 28 | 5,29 | 0,62 | 0,03 | 0,16 | 0,03 | 0,03 | 0,22 |
| 7 | 32 | 5,66 | 0,63 | 0,04 | 0,24 | 0,00 | 0,17 | 0,26 |
| 8 | 36 | 6,00 | 0,63 | 0,1 | 0,33 | 0,03 | 1,32 | 0,25 |
| 9 | 40 | 6,32 | 0,64 | 0,53 | 0,41 | 0,03 | 1,20 | 0,16 |
| 10 | 44 | 6,63 | 0,65 | 0,9 | 0,46 | 0,03 | 1,29 | 0,20 |
| 11 | 48 | 6,93 | 0,66 | 1,28 | 0,52 | 0,07 | 0,99 | 0,21 |
| 12 | 52 | 7,21 | 0,68 | 1,56 | 0,58 | 0,07 | 0,70 | 0,22 |
| 13 | 56 | 7,48 | 0,7 | 1,75 | 0,64 | 0,15 | 0,30 | 0,34 |
| 14 | 60 | 7,75 | 0,74 | 1,83 | 0,73 | 0,08 | 0,04 | 0,12 |
| 15 | 64 | 8,00 | 0,76 | 1,84 | 0,76 | 0,20 | 0,04 | 0,28 |
| 16 | 68 | 8,25 | 0,81 | 1,85 | 0,83 | 0,08 | 0,25 | 0,29 |
| 17 | 72 | 8,49 | 0,83 | 1,91 | 0,9 | 0,17 | 0,77 | 0,26 |
| 18 | 76 | 8,72 | 0,87 | 2,09 | 0,96 | 0,13 | 0,97 | 0,26 |
| 19 | 80 | 8,94 | 0,9 | 2,31 | 1,02 | 0,14 | 1,04 | 0,23 |
| 20 | 84 | 9,17 | 0,93 | 2,54 | 1,07 | 0,19 | 1,07 | 0,42 |
| 21 | 88 | 9,38 | 0,97 | 2,77 | 1,16 | 0,14 | 0,95 | 0,24 |
| 22 | 92 | 9,59 | 1 | 2,97 | 1,21 | 0,19 | 0,92 | 0,39 |
| 23 | 96 | 9,80 | 1,04 | 3,16 | 1,29 | 0,20 | 0,89 | 0,25 |
| 24 | 100 | 10,00 | 1,08 | 3,34 | 1,34 | 0,15 | 0,76 | 0,35 |
| 25 | 104 | 10,20 | 1,11 | 3,49 | 1,41 | 0,21 | 0,82 | 0,41 |
| 26 | 108 | 10,39 | 1,15 | 3,65 | 1,49 | 0,84 | 1,36 | 1,21 |
| 27 | 112 | 10,58 | 1,31 | 3,91 | 1,72 | 0,21 | 0,59 | 0,00 |
| 28 | 116 | 10,77 | 1,35 | 4,02 | 1,72 | 0,38 | 0,65 | 0,38 |
| 29 | 120 | 10,95 | 1,42 | 4,14 | 1,79 | 0,33 | 0,50 | 0,33 |
| 30 | 124 | 11,14 | 1,48 | 4,23 | 1,85 | 0,22 | 0,56 | 0,34 |
| 31 | 128 | 11,31 | 1,52 | 4,33 | 1,91 | 0,29 | 0,40 | 0,29 |
| 32 | 132 | 11,49 | 1,57 | 4,4 | 1,96 | 0,23 | 0,12 | 0,23 |
| 33 | 136 | 11,66 | 1,61 | 4,42 | 2 | 0,35 | -0,06 | 0,12 |
| 34 | 140 | 11,83 | 1,67 | 4,41 | 2,02 | 0,18 | 0,06 | 0,18 |
| 35 | 144 | 12,00 | 1,7 | 4,42 | 2,05 | 0,36 | 0,06 | 0,00 |
| 36 | 148 | 12,17 | 1,76 | 4,43 | 2,05 | 0,24 | -0,12 | 0,00 |
| 37 | 152 | 12,33 | 1,8 | 4,41 | 2,05 | 0,19 | -0,12 | 0,00 |
| 38 | 156 | 12,49 | 1,83 | 4,39 | 2,05 | 0,25 | -0,25 | 0,00 |
| 39 | 160 | 12,65 | 1,87 | 4,35 | 2,05 | 0,32 | -0,51 | 0,00 |
| 40 | 164 | 12,81 | 1,92 | 4,27 | 2,05 | 0,26 | -0,26 | 0,00 |

| | | | | | | | | |
|----|-----|-------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 41 | 168 | 12,96 | 1,96 | 4,23 | 2,05 | 0,26 | -0,26 | 0,00 |
| 42 | 172 | 13,11 | 2 | 4,19 | 2,05 | 0,33 | -0,40 | 0,00 |
| 43 | 176 | 13,27 | 2,05 | 4,13 | 2,05 | 0,40 | -0,20 | 0,00 |
| 44 | 180 | 13,42 | 2,11 | 4,1 | 2,05 | 0,20 | -0,20 | 0,00 |
| 45 | 184 | 13,56 | 2,14 | 4,07 | 2,05 | 0,34 | 0,00 | -0,07 |
| 46 | 188 | 13,71 | 2,19 | 4,07 | 2,04 | 0,48 | -0,07 | 0,07 |
| 47 | 192 | 13,86 | 2,26 | 4,06 | 2,05 | 0,35 | 0,07 | 0,14 |
| 48 | 196 | 14,00 | 2,31 | 4,07 | 2,07 | 0,49 | 0,14 | 0,42 |
| 49 | 200 | 14,14 | 2,38 | 4,09 | 2,13 | 0,36 | 0,21 | 0,50 |
| 50 | 204 | 14,28 | 2,43 | 4,12 | 2,2 | 0,50 | 0,29 | 0,43 |
| 51 | 208 | 14,42 | 2,5 | 4,16 | 2,26 | 0,51 | 0,29 | 0,72 |
| 52 | 212 | 14,56 | 2,57 | 4,2 | 2,36 | 0,37 | 0,15 | 0,29 |
| 53 | 216 | 14,70 | 2,62 | 4,22 | 2,4 | 0,37 | 0,07 | 0,37 |
| 54 | 220 | 14,83 | 2,67 | 4,23 | 2,45 | 0,37 | 0,00 | 0,15 |
| 55 | 224 | 14,97 | 2,72 | 4,23 | 2,47 | 0,38 | 0,00 | 0,38 |
| 56 | 228 | 15,10 | 2,77 | 4,23 | 2,52 | 0,15 | -0,23 | 0,08 |
| 57 | 232 | 15,23 | 2,79 | 4,2 | 2,53 | 0,31 | -0,23 | 0,08 |
| 58 | 236 | 15,36 | 2,83 | 4,17 | 2,54 | 0,39 | -0,23 | 0,15 |
| 59 | 240 | 15,49 | 2,88 | 4,14 | 2,56 | 0,23 | -0,47 | 0,00 |
| 60 | 244 | 15,62 | 2,91 | 4,08 | 2,56 | 0,16 | -0,71 | 0,00 |
| 61 | 248 | 15,75 | 2,93 | 3,99 | 2,56 | 0,40 | -0,24 | 0,00 |
| 62 | 252 | 15,87 | 2,98 | 3,96 | 2,56 | 0,32 | -0,48 | 0,00 |
| 63 | 256 | 16,00 | 3,02 | 3,9 | 2,56 | 0,16 | -0,80 | 0,00 |
| 64 | 260 | 16,12 | 3,04 | 3,8 | 2,56 | 0,32 | -0,73 | 0,00 |
| 65 | 264 | 16,25 | 3,08 | 3,71 | 2,56 | 0,41 | -0,24 | 0,00 |
| 66 | 268 | 16,37 | 3,13 | 3,68 | 2,56 | 0,33 | -0,49 | 0,00 |
| 67 | 272 | 16,49 | 3,17 | 3,62 | 2,56 | 0,17 | -0,83 | 0,00 |
| 68 | 276 | 16,61 | 3,19 | 3,52 | 2,56 | 0,17 | -1,00 | 0,00 |
| 69 | 280 | 16,73 | 3,21 | 3,4 | 2,56 | 0,17 | -0,50 | 0,00 |
| 70 | 284 | 16,85 | 3,23 | 3,34 | 2,56 | 0,17 | -0,17 | 0,00 |
| 71 | 288 | 16,97 | 3,25 | 3,32 | 2,56 | 0,09 | -0,43 | 0,00 |
| 72 | 292 | 17,09 | 3,26 | 3,27 | 2,56 | 0,00 | -0,69 | 0,00 |
| 73 | 296 | 17,20 | 3,26 | 3,19 | 2,56 | 0,00 | -0,95 | -0,09 |
| 74 | 300 | 17,32 | 3,26 | 3,08 | 2,55 | 0,00 | -1,13 | 0,09 |
| 75 | 304 | 17,44 | 3,26 | 2,95 | 2,56 | 0,00 | -0,96 | 0,00 |
| 76 | 308 | 17,55 | 3,26 | 2,84 | 2,56 | 0,00 | -1,06 | 0,00 |
| 77 | 312 | 17,66 | 3,26 | 2,72 | 2,56 | 0,00 | -0,80 | 0,00 |
| 78 | 316 | 17,78 | 3,26 | 2,63 | 2,56 | 0,09 | -0,80 | 0,00 |
| 79 | 320 | 17,89 | 3,27 | 2,54 | 2,56 | -0,09 | -0,63 | 0,00 |
| 80 | 324 | 18,00 | 3,26 | 2,47 | 2,56 | 0,09 | -0,54 | -0,09 |
| 81 | 328 | 18,11 | 3,27 | 2,41 | 2,55 | -0,09 | -0,36 | 0,09 |
| 82 | 332 | 18,22 | 3,26 | 2,37 | 2,56 | 0,00 | -0,37 | -0,09 |
| 83 | 336 | 18,33 | 3,26 | 2,33 | 2,55 | 0,09 | -0,46 | 0,00 |
| 84 | 340 | 18,44 | 3,27 | 2,28 | 2,55 | 0,28 | -0,28 | 0,00 |
| 85 | 344 | 18,55 | 3,3 | 2,25 | 2,55 | 0,28 | -0,28 | 0,00 |
| 86 | 348 | 18,65 | 3,33 | 2,22 | 2,55 | 0,28 | -0,19 | 0,00 |
| 87 | 352 | 18,76 | 3,36 | 2,2 | 2,55 | 0,19 | -0,19 | 0,00 |
| 88 | 356 | 18,87 | 3,38 | 2,18 | 2,55 | 0,47 | -0,28 | 0,00 |
| 89 | 360 | 18,97 | 3,43 | 2,15 | 2,55 | 0,38 | -0,19 | 0,00 |
| 90 | 364 | 19,08 | 3,47 | 2,13 | 2,55 | 0,29 | -0,10 | 0,00 |
| 91 | 368 | 19,18 | 3,5 | 2,12 | 2,55 | 0,58 | -0,10 | 0,00 |
| 92 | 372 | 19,29 | 3,56 | 2,11 | 2,55 | 0,29 | -0,19 | 0,10 |
| 93 | 376 | 19,39 | 3,59 | 2,09 | 2,56 | 0,39 | -0,19 | 0,19 |
| 94 | 380 | 19,49 | 3,63 | 2,07 | 2,58 | 0,39 | -0,10 | 0,10 |
| 95 | 384 | 19,60 | 3,67 | 2,06 | 2,59 | 0,29 | -0,10 | 0,29 |

| | | | | | | | | |
|--|-----|-------|------|------|------|-------------|--------------|-------------|
| 96 | 388 | 19,70 | 3,7 | 2,05 | 2,62 | 0,49 | -0,10 | 0,30 |
| 97 | 392 | 19,80 | 3,75 | 2,04 | 2,65 | 0,40 | 0,00 | 0,20 |
| 98 | 396 | 19,90 | 3,79 | 2,04 | 2,67 | 0,40 | -0,20 | 0,30 |
| 99 | 400 | 20,00 | 3,83 | 2,02 | 2,7 | 0,20 | -0,10 | 0,20 |
| 100 | 404 | 20,10 | 3,85 | 2,01 | 2,72 | 0,40 | -0,10 | 0,10 |
| 101 | 408 | 20,20 | 3,89 | 2 | 2,73 | 0,30 | 0,00 | 0,30 |
| 102 | 412 | 20,30 | 3,92 | 2 | 2,76 | 0,51 | -0,10 | 0,51 |
| 103 | 416 | 20,40 | 3,97 | 1,99 | 2,81 | 0,41 | 0,00 | 0,20 |
| 104 | 420 | 20,49 | 4,01 | 1,99 | 2,83 | 0,41 | 0,00 | 0,31 |
| 105 | 424 | 20,59 | 4,05 | 1,99 | 2,86 | 0,41 | 0,00 | 0,52 |
| 106 | 428 | 20,69 | 4,09 | 1,99 | 2,91 | 0,31 | 0,00 | 0,31 |
| 107 | 432 | 20,78 | 4,12 | 1,99 | 2,94 | 0,31 | -0,31 | 0,31 |
| 108 | 436 | 20,88 | 4,15 | 1,96 | 2,97 | 0,52 | 0,21 | 0,31 |
| 109 | 440 | 20,98 | 4,2 | 1,98 | 3 | 0,42 | 0,00 | 0,42 |
| 110 | 444 | 21,07 | 4,24 | 1,98 | 3,04 | 0,32 | -0,11 | 0,42 |
| 111 | 448 | 21,17 | 4,27 | 1,97 | 3,08 | 0,32 | 0,11 | 0,32 |
| 112 | 452 | 21,26 | 4,3 | 1,98 | 3,11 | 0,32 | -0,21 | 0,32 |
| 113 | 456 | 21,35 | 4,33 | 1,96 | 3,14 | 1,07 | 0,11 | 1,28 |
| 114 | 460 | 21,45 | 4,43 | 1,97 | 3,26 | 0,86 | 0,00 | 0,97 |
| 115 | 464 | 21,54 | 4,51 | 1,97 | 3,35 | 0,65 | 0,11 | 0,54 |
| 116 | 468 | 21,63 | 4,57 | 1,98 | 3,4 | 0,76 | 0,00 | 1,08 |
| 117 | 472 | 21,73 | 4,64 | 1,98 | 3,5 | 0,87 | 0,00 | 1,20 |
| 118 | 476 | 21,82 | 4,72 | 1,98 | 3,61 | 0,66 | 0,00 | 0,87 |
| 119 | 480 | 21,91 | 4,78 | 1,98 | 3,69 | 0,99 | 0,00 | 1,10 |
| 120 | 484 | 22,00 | 4,87 | 1,98 | 3,79 | - | - | - |
| Průměrná velikost součinitele β | | | | | | 0,29 | -0,01 | 0,21 |
| Výsledná velikost součinitele β | | | | | | 0,25 | | |

*červeně vyznačené hodnoty jsou vyřazeny z měření vzhledem k jejich velké odchylce od průměru
Do tělesa 3C2 vnikla nemrzoucí směs, červeně označené hodnoty byly z měření vyloučeny.

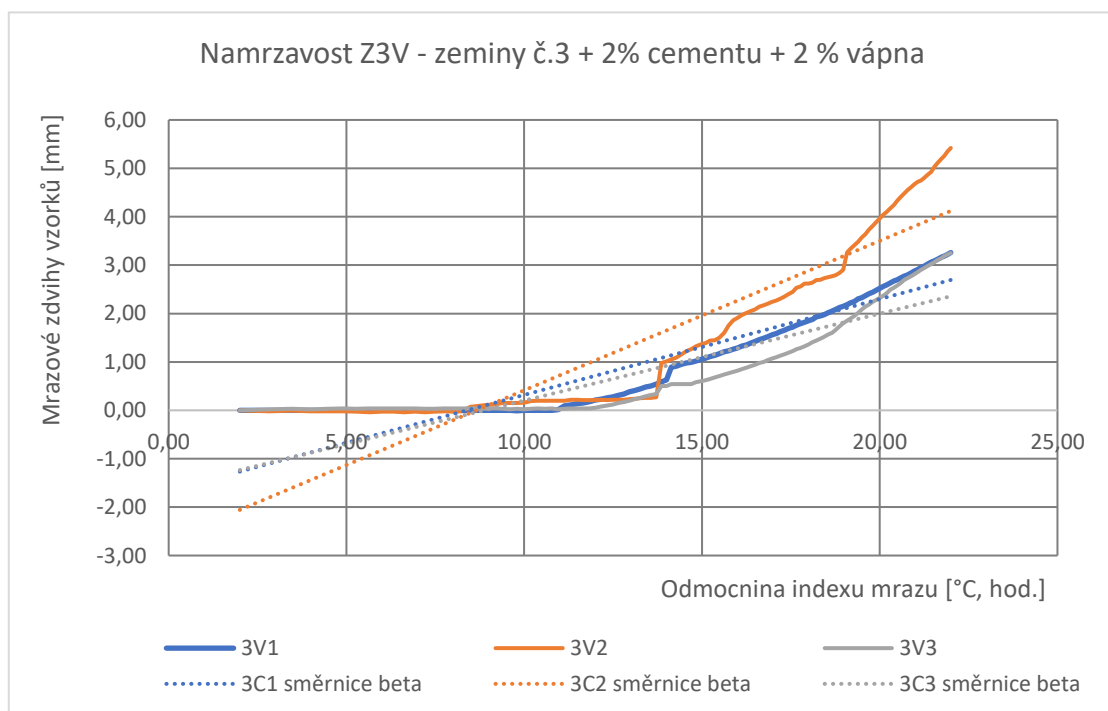


Zkoušení míry namrzavosti ČSN 72 1191

| NAMRZAVOST | | | | | | | | | |
|--|-------------|------------------------|----------------|------------|------------|------------------------|-----------|-----------|--|
| Z3V – Zemina č.3 + 2 % cementu + 2 % vápna | | | | | | | | | |
| čas | Index mrazu | Odmocnina indexu mrazu | Mrazové zdvihy | | | Součinitel namrzavosti | | | |
| | | | 3V1 | 3V2 | 3V3 | 3V1 | 3V2 | 3V3 | |
| hod | I_m [°C] | $\sqrt{I_m}$ [°C] | h_1 [mm] | h_2 [mm] | h_3 [mm] | β_1 | β_2 | β_3 | |
| 0 | 4 | 2,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,02 | 0,02 | |
| 1 | 8 | 2,83 | 0,00 | -0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | |
| 2 | 12 | 3,46 | 0,00 | -0,01 | 0,03 | 0,00 | -0,02 | -0,02 | |
| 3 | 16 | 4,00 | 0,00 | -0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | |
| 4 | 20 | 4,47 | 0,00 | -0,02 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | |
| 5 | 24 | 4,90 | 0,00 | -0,02 | 0,04 | 0,00 | -0,03 | -0,03 | |
| 6 | 28 | 5,29 | 0,00 | -0,03 | 0,03 | 0,00 | -0,03 | 0,03 | |
| 7 | 32 | 5,66 | 0,00 | -0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | |
| 8 | 36 | 6,00 | 0,01 | -0,03 | 0,04 | -0,03 | 0,00 | 0,00 | |
| 9 | 40 | 6,32 | 0,00 | -0,03 | 0,04 | 0,00 | -0,03 | 0,00 | |
| 10 | 44 | 6,63 | 0,00 | -0,04 | 0,04 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | |
| 11 | 48 | 6,93 | 0,00 | -0,03 | 0,04 | 0,00 | -0,04 | -0,04 | |
| 12 | 52 | 7,21 | 0,00 | -0,04 | 0,03 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | |
| 13 | 56 | 7,48 | 0,00 | -0,03 | 0,03 | 0,00 | 0,04 | 0,04 | |
| 14 | 60 | 7,75 | 0,00 | -0,02 | 0,04 | 0,00 | -0,04 | 0,00 | |
| 15 | 64 | 8,00 | 0,00 | -0,03 | 0,04 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | |
| 16 | 68 | 8,25 | 0,00 | -0,02 | 0,04 | 0,00 | 0,38 | 0,00 | |
| 17 | 72 | 8,49 | 0,00 | 0,07 | 0,04 | 0,00 | 0,09 | 0,00 | |
| 18 | 76 | 8,72 | 0,00 | 0,09 | 0,04 | 0,00 | 0,09 | -0,04 | |
| 19 | 80 | 8,94 | 0,00 | 0,11 | 0,03 | 0,00 | 0,05 | 0,05 | |
| 20 | 84 | 9,17 | 0,00 | 0,12 | 0,04 | 0,00 | 0,14 | -0,05 | |
| 21 | 88 | 9,38 | 0,00 | 0,15 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | -0,05 | |
| 22 | 92 | 9,59 | 0,00 | 0,15 | 0,02 | -0,05 | 0,00 | 0,05 | |
| 23 | 96 | 9,80 | -0,01 | 0,15 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | -0,05 | |
| 24 | 100 | 10,00 | 0,00 | 0,16 | 0,02 | 0,00 | 0,15 | 0,05 | |
| 25 | 104 | 10,20 | 0,00 | 0,19 | 0,03 | 0,00 | 0,05 | 0,05 | |
| 26 | 108 | 10,39 | 0,00 | 0,20 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | -0,05 | |
| 27 | 112 | 10,58 | 0,00 | 0,20 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | |
| 28 | 116 | 10,77 | 0,00 | 0,20 | 0,04 | 0,05 | 0,00 | -0,11 | |
| 29 | 120 | 10,95 | 0,01 | 0,20 | 0,02 | 0,44 | 0,00 | 0,06 | |
| 30 | 124 | 11,14 | 0,09 | 0,20 | 0,03 | 0,11 | 0,11 | 0,06 | |
| 31 | 128 | 11,31 | 0,11 | 0,22 | 0,04 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | |
| 32 | 132 | 11,49 | 0,14 | 0,22 | 0,04 | 0,06 | -0,06 | 0,00 | |
| 33 | 136 | 11,66 | 0,15 | 0,21 | 0,04 | 0,18 | 0,00 | 0,00 | |
| 34 | 140 | 11,83 | 0,18 | 0,21 | 0,04 | 0,18 | 0,00 | 0,06 | |
| 35 | 144 | 12,00 | 0,21 | 0,21 | 0,05 | 0,12 | 0,06 | 0,18 | |
| 36 | 148 | 12,17 | 0,23 | 0,22 | 0,08 | 0,18 | -0,06 | 0,12 | |
| 37 | 152 | 12,33 | 0,26 | 0,21 | 0,10 | 0,12 | 0,06 | 0,12 | |
| 38 | 156 | 12,49 | 0,28 | 0,22 | 0,12 | 0,19 | 0,00 | 0,19 | |
| 39 | 160 | 12,65 | 0,31 | 0,22 | 0,15 | 0,19 | 0,00 | 0,13 | |
| 40 | 164 | 12,81 | 0,34 | 0,22 | 0,17 | 0,26 | 0,06 | 0,19 | |

| | | | | | | | | |
|----|-----|-------|------|------|------|------|------|------|
| 41 | 168 | 12,96 | 0,38 | 0,23 | 0,20 | 0,20 | 0,07 | 0,20 |
| 42 | 172 | 13,11 | 0,41 | 0,24 | 0,23 | 0,20 | 0,07 | 0,20 |
| 43 | 176 | 13,27 | 0,44 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,07 | 0,20 |
| 44 | 180 | 13,42 | 0,48 | 0,26 | 0,29 | 0,13 | 0,00 | 0,20 |
| 45 | 184 | 13,56 | 0,50 | 0,26 | 0,32 | 0,27 | 0,07 | 0,14 |
| 46 | 188 | 13,71 | 0,54 | 0,27 | 0,34 | 0,34 | 4,89 | 1,10 |
| 47 | 192 | 13,86 | 0,59 | 0,98 | 0,50 | 0,28 | 0,21 | 0,00 |
| 48 | 196 | 14,00 | 0,63 | 1,01 | 0,50 | 1,83 | 0,28 | 0,28 |
| 49 | 200 | 14,14 | 0,89 | 1,05 | 0,54 | 0,14 | 0,28 | 0,00 |
| 50 | 204 | 14,28 | 0,91 | 1,09 | 0,54 | 0,29 | 0,50 | 0,00 |
| 51 | 208 | 14,42 | 0,95 | 1,16 | 0,54 | 0,22 | 0,43 | 0,00 |
| 52 | 212 | 14,56 | 0,98 | 1,22 | 0,54 | 0,07 | 0,29 | 0,00 |
| 53 | 216 | 14,70 | 0,99 | 1,26 | 0,54 | 0,22 | 0,44 | 0,30 |
| 54 | 220 | 14,83 | 1,02 | 1,32 | 0,58 | 0,22 | 0,30 | 0,15 |
| 55 | 224 | 14,97 | 1,05 | 1,36 | 0,60 | 0,23 | 0,23 | 0,15 |
| 56 | 228 | 15,10 | 1,08 | 1,39 | 0,62 | 0,23 | 0,38 | 0,23 |
| 57 | 232 | 15,23 | 1,11 | 1,44 | 0,65 | 0,23 | 0,08 | 0,23 |
| 58 | 236 | 15,36 | 1,14 | 1,45 | 0,68 | 0,23 | 0,39 | 0,23 |
| 59 | 240 | 15,49 | 1,17 | 1,50 | 0,71 | 0,31 | 0,78 | 0,23 |
| 60 | 244 | 15,62 | 1,21 | 1,60 | 0,74 | 0,16 | 1,18 | 0,24 |
| 61 | 248 | 15,75 | 1,23 | 1,75 | 0,77 | 0,24 | 0,87 | 0,16 |
| 62 | 252 | 15,87 | 1,26 | 1,86 | 0,79 | 0,24 | 0,40 | 0,24 |
| 63 | 256 | 16,00 | 1,29 | 1,91 | 0,82 | 0,32 | 0,48 | 0,24 |
| 64 | 260 | 16,12 | 1,33 | 1,97 | 0,85 | 0,16 | 0,32 | 0,24 |
| 65 | 264 | 16,25 | 1,35 | 2,01 | 0,88 | 0,33 | 0,33 | 0,24 |
| 66 | 268 | 16,37 | 1,39 | 2,05 | 0,91 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| 67 | 272 | 16,49 | 1,42 | 2,08 | 0,94 | 0,33 | 0,50 | 0,33 |
| 68 | 276 | 16,61 | 1,46 | 2,14 | 0,98 | 0,25 | 0,25 | 0,17 |
| 69 | 280 | 16,73 | 1,49 | 2,17 | 1,00 | 0,25 | 0,25 | 0,34 |
| 70 | 284 | 16,85 | 1,52 | 2,20 | 1,04 | 0,34 | 0,34 | 0,25 |
| 71 | 288 | 16,97 | 1,56 | 2,24 | 1,07 | 0,26 | 0,26 | 0,26 |
| 72 | 292 | 17,09 | 1,59 | 2,27 | 1,10 | 0,34 | 0,34 | 0,26 |
| 73 | 296 | 17,20 | 1,63 | 2,31 | 1,13 | 0,17 | 0,35 | 0,26 |
| 74 | 300 | 17,32 | 1,65 | 2,35 | 1,16 | 0,35 | 0,43 | 0,26 |
| 75 | 304 | 17,44 | 1,69 | 2,40 | 1,19 | 0,26 | 0,44 | 0,26 |
| 76 | 308 | 17,55 | 1,72 | 2,45 | 1,22 | 0,35 | 0,70 | 0,35 |
| 77 | 312 | 17,66 | 1,76 | 2,53 | 1,26 | 0,27 | 0,27 | 0,27 |
| 78 | 316 | 17,78 | 1,79 | 2,56 | 1,29 | 0,27 | 0,53 | 0,27 |
| 79 | 320 | 17,89 | 1,82 | 2,62 | 1,32 | 0,27 | 0,00 | 0,36 |
| 80 | 324 | 18,00 | 1,85 | 2,62 | 1,36 | 0,27 | 0,18 | 0,45 |
| 81 | 328 | 18,11 | 1,88 | 2,64 | 1,41 | 0,45 | 0,45 | 0,27 |
| 82 | 332 | 18,22 | 1,93 | 2,69 | 1,44 | 0,18 | 0,09 | 0,37 |
| 83 | 336 | 18,33 | 1,95 | 2,70 | 1,48 | 0,28 | 0,28 | 0,37 |
| 84 | 340 | 18,44 | 1,98 | 2,73 | 1,52 | 0,37 | 0,18 | 0,46 |
| 85 | 344 | 18,55 | 2,02 | 2,75 | 1,57 | 0,28 | 0,19 | 0,28 |
| 86 | 348 | 18,65 | 2,05 | 2,77 | 1,60 | 0,28 | 0,19 | 0,56 |
| 87 | 352 | 18,76 | 2,08 | 2,79 | 1,66 | 0,38 | 0,47 | 0,66 |
| 88 | 356 | 18,87 | 2,12 | 2,84 | 1,73 | 0,28 | 0,57 | 0,66 |
| 89 | 360 | 18,97 | 2,15 | 2,90 | 1,80 | 0,29 | 3,42 | 0,48 |
| 90 | 364 | 19,08 | 2,18 | 3,26 | 1,85 | 0,38 | 0,77 | 0,48 |
| 91 | 368 | 19,18 | 2,22 | 3,34 | 1,90 | 0,29 | 0,67 | 0,48 |
| 92 | 372 | 19,29 | 2,25 | 3,41 | 1,95 | 0,48 | 0,68 | 0,58 |
| 93 | 376 | 19,39 | 2,30 | 3,48 | 2,01 | 0,29 | 0,87 | 0,68 |
| 94 | 380 | 19,49 | 2,33 | 3,57 | 2,08 | 0,39 | 0,68 | 0,59 |
| 95 | 384 | 19,60 | 2,37 | 3,64 | 2,14 | 0,39 | 0,88 | 0,39 |

| | | | | | | | | | |
|---|-----|-------|------|------|------|------|-------------|-------------|-------------|
| 96 | 388 | 19,70 | 2,41 | 3,73 | 2,18 | 0,30 | 0,79 | 0,59 | |
| 97 | 392 | 19,80 | 2,44 | 3,81 | 2,24 | 0,40 | 0,79 | 0,40 | |
| 98 | 396 | 19,90 | 2,48 | 3,89 | 2,28 | 0,40 | 0,70 | 0,40 | |
| 99 | 400 | 20,00 | 2,52 | 3,96 | 2,32 | 0,40 | 0,80 | 0,50 | |
| 100 | 404 | 20,10 | 2,56 | 4,04 | 2,37 | 0,30 | 0,60 | 0,50 | |
| 101 | 408 | 20,20 | 2,59 | 4,10 | 2,42 | 0,40 | 0,71 | 0,71 | |
| 102 | 412 | 20,30 | 2,63 | 4,17 | 2,49 | 0,41 | 0,71 | 0,41 | |
| 103 | 416 | 20,40 | 2,67 | 4,24 | 2,53 | 0,31 | 0,92 | 0,51 | |
| 104 | 420 | 20,49 | 2,70 | 4,33 | 2,58 | 0,41 | 0,82 | 0,51 | |
| 105 | 424 | 20,59 | 2,74 | 4,41 | 2,63 | 0,31 | 0,72 | 0,62 | |
| 106 | 428 | 20,69 | 2,77 | 4,48 | 2,69 | 0,31 | 0,73 | 0,41 | |
| 107 | 432 | 20,78 | 2,80 | 4,55 | 2,73 | 0,42 | 0,62 | 0,42 | |
| 108 | 436 | 20,88 | 2,84 | 4,61 | 2,77 | 0,42 | 0,63 | 0,42 | |
| 109 | 440 | 20,98 | 2,88 | 4,67 | 2,81 | 0,32 | 0,53 | 0,53 | |
| 110 | 444 | 21,07 | 2,91 | 4,72 | 2,86 | 0,42 | 0,32 | 0,42 | |
| 111 | 448 | 21,17 | 2,95 | 4,75 | 2,90 | 0,32 | 0,64 | 0,42 | |
| 112 | 452 | 21,26 | 2,98 | 4,81 | 2,94 | 0,43 | 0,64 | 0,43 | |
| 113 | 456 | 21,35 | 3,02 | 4,87 | 2,98 | 0,43 | 0,64 | 0,43 | |
| 114 | 460 | 21,45 | 3,06 | 4,93 | 3,02 | 0,32 | 1,07 | 0,43 | |
| 115 | 464 | 21,54 | 3,09 | 5,03 | 3,06 | 0,32 | 0,86 | 0,54 | |
| 116 | 468 | 21,63 | 3,12 | 5,11 | 3,11 | 0,43 | 0,87 | 0,33 | |
| 117 | 472 | 21,73 | 3,16 | 5,19 | 3,14 | 0,33 | 0,76 | 0,54 | |
| 118 | 476 | 21,82 | 3,19 | 5,26 | 3,19 | 0,33 | 0,98 | 0,33 | |
| 119 | 480 | 21,91 | 3,22 | 5,35 | 3,22 | 0,44 | 0,77 | 0,33 | |
| 120 | 484 | 22,00 | 3,26 | 5,42 | 3,25 | - | - | - | |
| Průměrná velikost součinitele β | | | | | | | 0,23 | 0,40 | 0,24 |
| Výsledná velikost součinitele β | | | | | | | 0,24 | | |



Zkouška methylenovou modří ČSN EN 933-9+A1

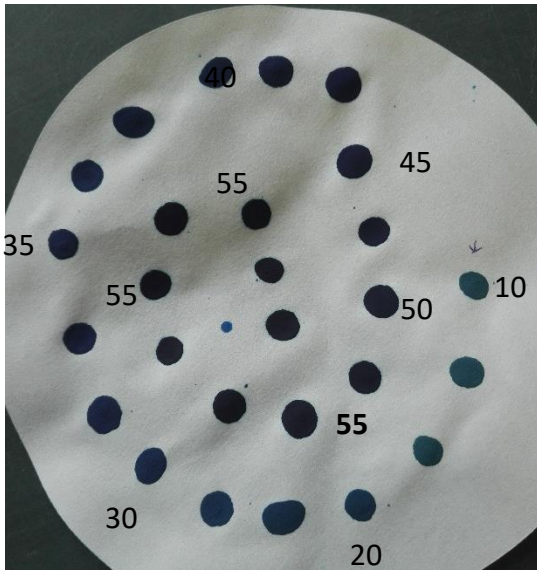
| Zkouška methylenovou modří | | | | | | |
|---|---|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------------------|
| Objem methylenové modře V ₁ [ml] | Přítomnost barevného kruhu světle modré barvy | | | | | |
| | Zemina č. 1 | Zemina č. 1 + 2 % vápna | Zemina č. 2 | Zemina č. 2 + 2 % vápna | Zemina č. 3 | Zemina č. 3 + 2 % vápna |
| 10 | NE | NE | X | NE | X | X |
| 15 | X | X | X | NE | X | X |
| 20 | NE | NE | NE | ANO | NE | NE |
| 25 | X | ANO | NE | | X | X |
| 30 | NE | | ANO | | NE | NE |
| 35 | NE | | | | X | X |
| 40 | NE | | | | NE | NE |
| 45 | NE | | | | X | X |
| 50 | NE | | | | NE | NE |
| 55 | ANO | | | | NE | ANO |
| 60 | | | | | NE | |
| 65 | | | | | NE | |
| 70 | | | | | ANO | |

X – při tomto objemu nebyla u dané směsi zkouška prováděna

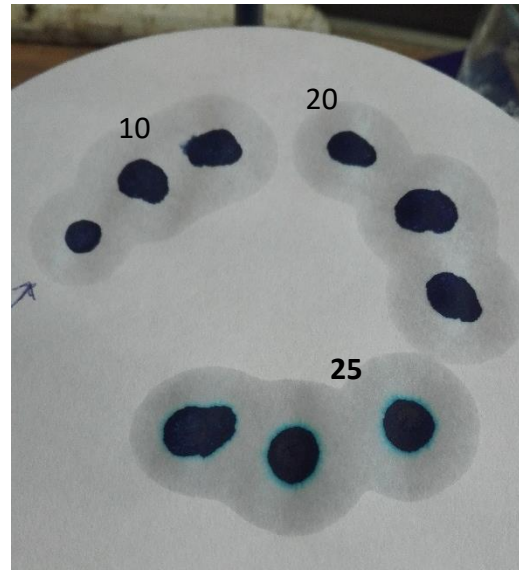
NE – nedošlo ke světle modrému zbarvení okrajů

ANO – došlo ke světle modrému zbarvení okrajů

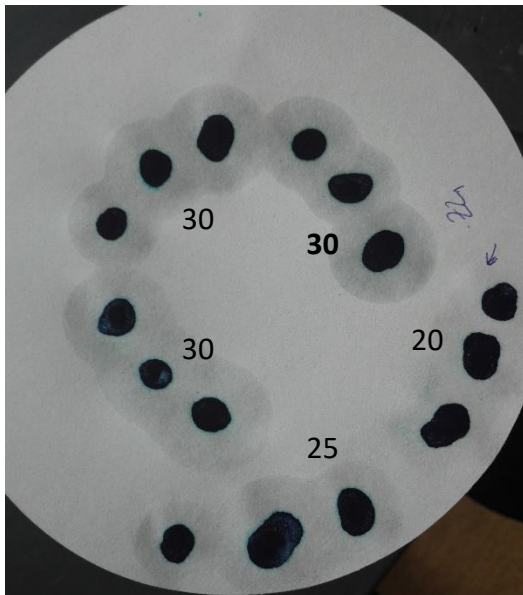
| | Zemina č.1 | | Zemina č.2 | | Zemina č.3 | |
|-------------------------------------|------------|------|------------|------|------------|-------|
| | Z1 | Z1V | Z2 | Z2 | Z3C | Z3 |
| Objem methylenové modře | 55,0 | 25,0 | 30,0 | 20,0 | 70,0 | 55,0 |
| Hodnota methylenové modři MB | 13,75 | 6,25 | 7,50 | 5,00 | 17,5 | 13,75 |



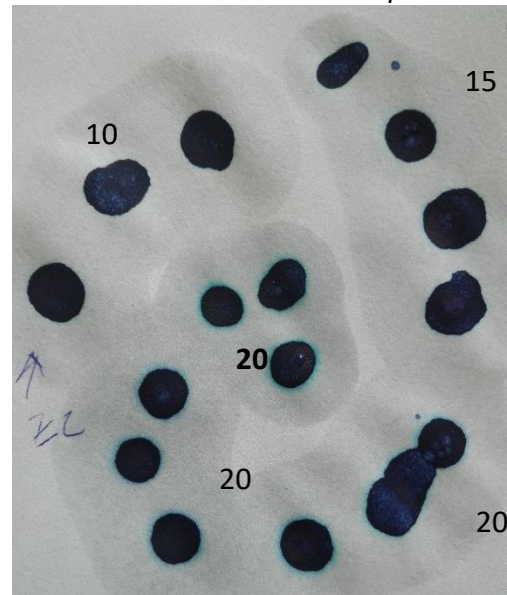
Zemina č. 1



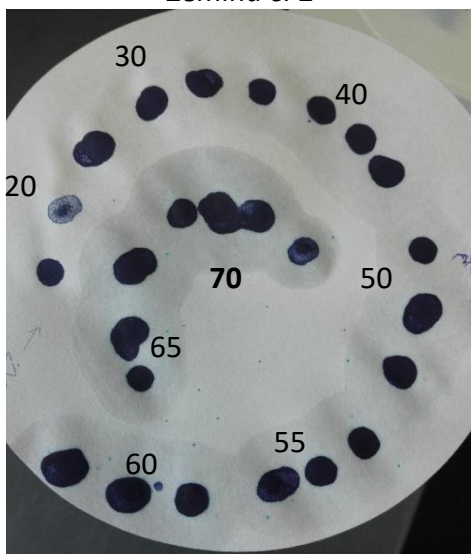
Zemina č. 1 + 2 % vápna



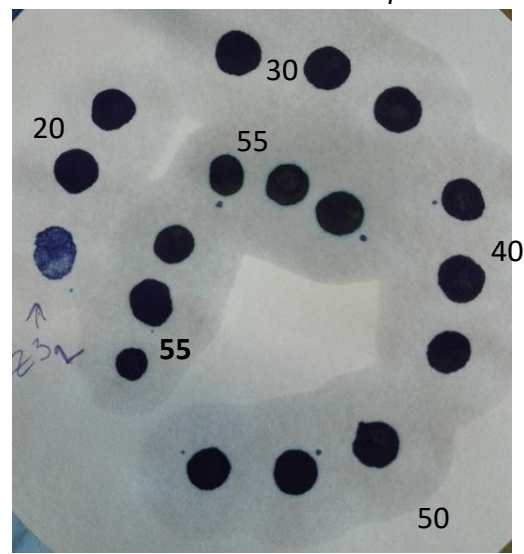
Zemina č. 2



Zemina č. 2 + 2 % vápna



Zemina č. 3



Zemina č. 3 + 2 % vápna