



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

KLASIFIKACE PŮDNÍCH DRUHŮ NA ZÁKLADĚ MĚŘENÍ TEXTURY PŮDY BĚŽNÝMI I MODERNÍMI METODAMI

SOIL CLASSIFICATION BASED ON SOIL TEXTURE MEASUREMENTS BY STANDARD AND MODERN
METHODS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Klára Faltínová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Stanislav Paseka, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství krajiny
Studentka: **Bc. Klára Faltínová**
Vedoucí práce: **Ing. Stanislav Paseka, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Klasifikace půdních druhů na základě měření textury půdy běžnými i moderními metodami

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jednou z nejdůležitějších vlastností zemin je textura neboli zrnitost půdy. Podle textury půdy se rozlišují půdní druhy. Diplomová práce se bude zabývat stanovením zrnitostních křivek běžnými i moderními metodami na reálných vzorcích půdy. Analýza vzorků (prosévací zkouška, hustoměrná zkouška, pipetovací metoda a metoda laserové difrakce) bude probíhat v pedologické laboratoři VHK. Výsledkem bude porovnání odlišných metod a jejich vliv na klasifikaci půdních druhů testovaných půdních vzorků.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Jedním z cílů bude zpracovat rešerši na používané metody měření zrnitostních křivek u nás a ve světě. Dále popsat možnosti zatřídění (klasifikace půdních druhů) na základě zrnitosti. Stěžejním cílem je pak vyhodnotit půdní druhy na základě měření půdních vzorků různými metodami v pedologické laboratoři.

Seznam doporučené literatury a podklady:

ČSN EN ISO 17892-4 Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 4: Stanovení zrnitosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

ČSN EN ISO 14688-2 Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování zemin – Část 2: Zásady pro zařizování. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

Zbíral, J., Čižmárová, E., Obdržálková, E., Rychlý, M. Analýza půd. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2016. ISBN: 978-80-7401-123-8.

Zoubková, L. Návody k laboratorním cvičením z pedologie. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-842-2.

Bajer, A., Lisá, L. Metodika odběrů a zpracování vzorků pro geoarcheologický výzkum. Výzkum sedimentárního záznamu. Certifikovaná metodika, Masarykova univerzita - Mendelova univerzita v Brně. 2016, Brno.

Bieganowski, A., Ryżak, M., Sochan, A., Barna, G., Hernádi, H., Beczek, M., Polakowski, C., Makó, A. Laser diffractometry in the measurements of soil and sediment particle size distribution. Adv. Agronomy, 151, 2018, pp. 215-279. ISSN 0065-2113.

Ramaswamy, V., Rao¹, P. S. Grain Size Analysis of Sediments from the Northern Andaman Sea: Comparison of Laser Diffraction and Sieve-Pipette Techniques. Journal of Coastal Research, 2006, 22 (4(224)): pp. 1000–1009.

Di Stefano, C., Ferro, V., Mirabile, S. Comparison between grain-size analyses using laser diffraction and sedimentation methods. Biosystems Engineering, Volume 106, Issue 2, 2010, Pages 205-215, ISSN 1537-5110.

Morari, F., Bittelli, M., Andrenelli, C., Simonetti, G., Pellegrini, S., Artioli, G., Piccoli, I. Comparing sedimentation methods and laser diffraction against an independent optical method. Geophysical Research Abstracts. Vol. 21, EGU, 2019.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2023

L. S.

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.
vedoucí ústavu

Ing. Stanislav Paseka, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se věnuje problematice zrnitosti zemin. U odebraných vzorků jemnozeme je analyzováno zrnitostní složení pomocí síťového rozboru, hustoměrné a pipetovací metody a nové metody laserové difrakce. Na základě grafických vyjádření zrnitosti zkoumaných vzorků jsou určeny půdní druhy. Závěr práce je zaměřen na srovnání provedených metod a výsledků, zejména metod sedimentačních a metody laserové difrakce. V některých případech dochází k návrhu možných změn pro zpřesnění výsledků měření.

KLÍČOVÁ SLOVA

zrnitostní složení zemin, velikost částic, síťový rozbor, hustoměrná metoda, pipetovací metoda, laserové difrakce

ABSTRACT

The master thesis is devoted to the problems of soil particle distribution. The particles distribution of fine particles samples are analysed by sieve method, hydrometer method, pipette method and laser diffraction method. Soil types are determined on the basis of graphs expressing the particle size distribution. The conclusion of the work is focused on the comparison of the performed methods and results, especially sedimentation and laser diffraction methods. In some cases, changes are suggested to refine the measurements statements.

KEYWORDS

soil particle distribution, particle size, sieve method, hydrometer method, pipette method, laser diffraction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FALTÍNOVÁ, Klára. *Klasifikace půdních druhů na základě měření textury půdy běžnými i moderními metodami*. Brno, 2024. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí Ing. Stanislav Paseka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Klasifikace půdních druhů na základě měření textury půdy běžnými i moderními metodami* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 3. 1. 2024

Bc. Klára Faltínová

Autor

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Stanislavu Pasekovi, Ph.D. za skvělý přístup, odborné rady a vedení při tvorbě této diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a nejbližším za ohleduplnost a neustálou podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	PŮDA A JEJÍ FUNKCE	12
2.1	PŮDNĚ KLASIFIKAČNÍ JEDNOTKY	12
3	ZEMINA	13
3.1	VZNIK ZEMIN	13
3.2	VLASTNOSTI ZEMIN	14
4	ZRNITOSTNÍ ANALÝZA	17
4.1	ZRNITOSTNÍ KŘIVKA	17
5	KLASIFIKACE ZEMIN	19
5.1	KLASIFIKACE PODLE KOPECKÉHO	20
5.2	KLASIFIKACE PODLE NOVÁKA	21
5.3	USDA	22
5.4	FAO	23
5.5	USCS	24
5.6	Klasifikace podle ČSN EN ISO 14688-2 Geotechnický průzkum a zkoušení	25
5.7	Klasifikace podle ČSN 73 1001	27
6	ODBĚR VZORKU	30
7	PŘEDBĚŽNÁ ÚPRAVA VZORKU	31
8	METODY	31
8.1	PROSÉVACÍ ZKOUŠKA	32
8.2	SEDIMENTAČNÍ METODY	34
8.3	METODA LASEROVÉ DIFRAKCE	41
9	LOKACE A ZPŮSOB ODBĚRU VZORKŮ	43
9.1	ODBĚR VZORKU	45
10	JEDNOTNÁ ÚPRAVA VZORKŮ	49
11	MĚRNÁ HMOTNOST	50
11.1	PŘÍPRAVA VZORKŮ	50
11.2	PRŮBĚH ZKOUŠKY	50
11.3	VYHODNOCENÍ	51
12	SÍTOVÝ ROZBOR	52
12.1	PŘÍPRAVA VZORKU	52
12.2	PRŮBĚH ZKOUŠKY	52
12.3	VYHODNOCENÍ	54
12.4	DISKUZE	55

13	HUSTOMĚRNÁ METODA	55
13.1	PŘÍPRAVA VZORKU	55
13.2	PRŮBĚH ZKOUŠKY	57
13.3	VYHODNOCENÍ	58
13.4	DISKUSE.....	64
14	PIPETOVACÍ METODA	64
14.1	PŘÍPRAVA VZORKU	64
14.2	PRŮBĚH ZKOUŠKY	66
14.3	VYHODNOCENÍ	67
14.4	DISKUZE.....	68
15	LASEROVÁ DIFRAKCE	68
15.1	PŘÍPRAVA VZORKU	69
15.2	PRŮBĚH ZKOUŠKY	70
15.3	VYHODNOCENÍ	71
15.4	DISKUSE.....	71
16	VYHODNOCENÍ A KLASIFIKACE	72
16.1	VZORKY	73
16.2	HODNOCENÍ POUVEDENÝCH METOD	97
17	ZÁVĚR.....	101
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	103
	SEZNAM OBRÁZKŮ	107
	SEZNAM TABULEK.....	109

1 ÚVOD

Textura neboli zrnitost je jednou z nejdůležitějších fyzikálních vlastností zemin a má velký vliv na její chování. Dodnes je často zrnitostní složení analyzováno převážně sedimentačními metodami nebo síťovým rozbořem, jež může být pro mnohé zeminy nedostatečný. Již dávno používané sedimentační analýzy, přesněji například hustoměrná a pipetovací metoda fungují na principu Stokesova zákona a zrna jsou při vyhodnocení nahrazována dokonale kulovitými částicemi. Velikost částic je měřena nepřímo a zjišťuje se ze sledovaného parametru sedimentační rychlosti. Technologický pokrok dnešní doby nabízí využití nové, ale zatím ne příliš prozkoumané metody laserové difrakce, jež přináší nový pohled na problematiku zrnitosti a umožňuje oproti klasickým metodám velmi rychlé a poměrně přesné vyhodnocení a zároveň získání velkého množství dat.

Diplomová práce je zaměřena na problematiku zrnitosti analyzovanou již výše zmíněnými metodami a na porovnání jejich výsledků. Práce je rozdělena do dvou hlavních částí, první část je věnována teoretické rešerši týkající se vzniku zemin, jejich vlastností, samotné problematice zrnitosti, včetně křivek zrnitosti a následně klasifikačním systémům používaným ve světě i v České republice. Závěr teoretické části je zaměřen na provedení klasických i moderních metod stanovujících zrnitostní složení zemin, dále na jejich podstatu, vhodnost použití, stručný postup a možnosti vyhodnocení.

Druhá část práce je věnována analýze zrnitostního složení dvanácti vzorků jemnozeme pomocí výše zmíněných metod. Je popsána lokace a způsob odběru vzorků, jež jsou studovány za účelem zjištění informací o frakcích, které mohou mít vliv na zanášení blízkých rybníků. Následně jsou v zájmových oblastech popsány klimatické, geologické a pedologické poměry.

K zrnitosti zemin je přistoupeno jako ke stěžejní vlastnosti, která byla analyzována na základě čtyř zrnitostních metod aplikovaných na několika vzorcích zeminy. Je detailně popsána příprava vzorků pro následné provedení síťového rozboru, hustoměrné metody, pipetovací metody a metody laserové difrakce. Je také diskutováno o náročnosti a problematice každé z metod, jsou zmíněny plusy a mínusy a v některých případech jsou navrženy možné změny a opatření pro zpřesnění a eliminaci chyb a individuálních vlivů měřitele.

U každé z metod je také popsán samotný průběh zkoušky a následné vyhodnocení, které je vyobrazeno v grafické podobě ve tvaru zrnitostních křivek pro jednotlivé vrstvy studovaných lokalit. Následně jsou uvedena grafická vyjádření zrnitosti každého vzorku pro každou z provedených zrnitostních zkoušek. Pro výsledky sedimentačních metod a laserovou difrakci jsou určeny odpovídající půdní druhy podle klasifikačních systémů USDA, Kopeckého a Nováka. Hlavním bodem práce je srovnání výsledků provedených analýz a popsání jejich vzájemného vztahu, či případného návrhu zlepšení.

Toto téma je aktuální, jelikož správný přístup k metodě laserové difrakce umožňuje získání velkého množství dat během krátké doby, což je u běžných metod neproveditelné. Laserová difrakce přináší do této oblasti nové pojetí zrnitostního rozboru, jelikož je zrnitost zkoumaná na základě počtu výskytů částic dané frakce. Oproti tomu výstupem sedimentačních metod je vyjádření hmotnostního podílu pro dané průměry částic.

Metoda laserové difrakce dosáhla při zrnitostní analýze zemin velké obliby a její vývoj jde stále dopředu. Nabízí zisk přesných dat, za velmi krátkou dobu. Jelikož se tento druh analýzy objevil až na konci minulého století, její správná aplikace je v současnosti hlavním tématem v pedologických laboratořích. Aspekty, které výsledky mohou ovlivnit, jsou například kvalita vody, její chemické složení a odplynění, reprezentativní zastoupení půdních částic vzorku v pastě aplikované do přístroje, síla a délka trvání ultrazvuku, rychlost čerpadla a míchadla, účinnost rozptylu částic, jejich zakrytí, homogenita vzorku při opakovaném měření, kvalita odstranění přítomného organického materiálu nebo dalších cementačních činidel před začátkem měření, zvolený matematický model Mie nebo Fraunhofer [1].

V současné době jsou už publikovány studie, ve kterých jsou vyjádřeny například vztahy mezi výsledky laserové difrakce a výsledky pipetovací metody kombinované se síťovým rozbořem. Tyto vztahy jsou vyjádřeny pomocí lineárních regresních rovnic definovaných pro jednotlivé frakce [2].

Další studie pojednávají o srovnání výsledků metody laserové difrakce s metodou hustoměrnou. Rozdíly ve vyhodnoceních jsou velmi podobné, jako v případě laserové difrakce a pipetovací zkoušky. Mimo jiné došlo i ke zjištění, že výsledky mohou být ovlivněny zvoleným typem difraktometru, jelikož závisí na počtu jeho detekčních buněk. Naopak síla a délka trvání ultrazvuku, dle této publikace nemají na výsledek vliv. Zjištěný obsah písku by měl být velmi podobný, jako v případě analýzy pomocí hustoměru [3].

Rozdíl mezi výsledky sedimentačních metod a metodou laserové difrakce je největší v oblasti jílových částic, kdy jsou obsahy těchto částic v případě sedimentačních metod nadhodnoceny, naopak v případě metody laserové difrakce dochází k jejich podhodnocení [4].

Zrnitostní rozbor je při popisu horninového prostředí součástí každého inženýrskogeologického průzkumu, a proto je nutné se touto problematikou dále zabývat a metody vyvíjet a jejich výsledky zpřesňovat.

2 PŮDA A JEJÍ FUNKCE

Půda je definována jako povrchová vrstva země. Půda je přírodní útvar vertikálně i horizontálně strukturovaný. Vědní obor zabývající se půdou se nazývá pedologie. Ta studuje jednotlivé podrobnosti půd, zákonitosti, rozmístění, procesy i chemické a fyzikální vlastnosti.

Půda má řadu funkcí, základní dvě kategorie jsou funkce produkční a funkce mimoprodukční. Funkce produkční představuje poskytování životních podmínek pro organismy žijící v půdě a rostliny. Je ovlivněna fyzikálními, biologickými, fyzikálně chemickými a chemickými vlastnosti půd. Mimoprodukční funkcí je myšleno například zadržování, filtrování a transformování látek. Podstatný vliv má půda na koloběh vody na Zemi [5].

Půda zastává funkce nepostradatelné pro lidskou činnost a pro přežití ekosystémů. Základní funkce, které by měla schopna plnit jsou:

- produkování biomasy,
- procesy filtrování, transformace a také shromažďování živin vody a chemických látek,
- stanoviště genů a různých druhů organismů,
- kulturní a fyzikální prostředí pro lidskou činnost,
- zdroj surovin,
- zásobárna uhlíku,
- archiv archeologického a geologického dědictví [6].

2.1 PŮDNĚ KLASIFIKAČNÍ JEDNOTKY

Půdní klasifikace je systém, který studuje pedologie. Základní jednotkou půdní klasifikace je **půdní typ**. Pod termínem půdní typ lze chápat skupiny půd, které se vyznačují velmi podobnými morfoloogickými a analytickými znaky. Tyto půdy náležící jednomu půdnímu typu se v minulosti vyvíjely díky stejným kombinacím půdotvorných procesů. Jako **půdní subtyp** označujeme přechod mezi dvěma půdními typy, například když během vývoje došlo k zařazení dalšího podřízeného půdotvorného procesu, který měl vliv na půdní vývoj.

Další jednotkou je **půdní druh** a je vyjádřen zrnitostním složením, sleduje se procentuální zastoupení jednotlivých frakcí. Zrnitostním složením půdy je výrazně ovlivněna skupina vlastností jako soudržnost, konzistenční meze, přilnavost a zpracovatelnost [6].

3 ZEMINA

Zeminou rozumíme povrchovou část litosféry, která je narušená zvětráváním [7].

V inženýrské praxi jsou zeminy vnímány jako slabě zpevněné či nezpevněné horniny. Na rozdíl od jiných látek je zemina složena ze tří fází. První pevná fáze je tvořena širokým spektrem částic různého tvaru, velikosti, stavby a složení. Druhá kapalná fáze je tvořena vodou, která je obsažena v pórech mezi částicemi. Třetí fází je fáze plynná, ta je tvořena vzduchem případně různými plyny a je také situována v prostorech mezi částicemi [8].

3.1 VZNIK ZEMIN

Vlivem střídání denních, sezónních a ročních období dochází na povrchu, v pórech, prasklinách i puklinách k výkyvům teplot. V těchto oblastech zemské kůry cirkuluje voda s obsahem rozpuštěných plynů. Horniny tomuto působení podléhají a tvoří kůru zvětrávání na povrchu litosféry. Mocnost této kůry závisí na geologických, hydrogeologických a klimatických poměrech a pohybuje se v rozmezí desítek až stovek metrů [9].

Zeminy vznikají díky geologickým procesům. Zvětrávání, transport a sedimentace vytváří soubor procesů, které působí na sedimentární, hlubinné i vyvřelé skalní horniny. Zvětrávání je děleno na chemické a mechanické.

- K chemickému zvětrávání dochází vlivem chemických roztoků, jež se v přírodě vyskytují většinou ve velmi malých koncentracích, ale jejich účinky se projevují vlivem působení na velké plochy. Podstatnou roli v případě chemického zvětrávání hraje právě plocha, na kterou chemické látky mohou působit. Například u vzorků stejné zeminy o stejném objemu skeletu, ale různé frakci, bude vliv chemického zvětrávání větší na tom s obsahem drobnější frakce. Chemické zvětrávání postihuje největší měrou nejmenší částice mechanicky rozrušených skalních hornin a podporuje tak další rozpad a změnu mineralogického složení.
- K mechanickému zvětrávání dochází v důsledku atmosférických vlivů. V důsledku střídání nízkých a vysokých teplot, činnosti vody povrchové i podzemní, činnosti ledu a větru jsou horniny narušovány, tvarově přetvářeny. Mechanické zvětrávání vede k rozdělení skalních celků na úlomky někdy i jednotlivá zrna. Tímto působením vznikají balvany, kameny, valouny, štěrky, písky, prachové zeminy a hlíny. Tyto prvky jsou během transportu, působení proudění vody, větru a gravitace postupem času opracovány, unášeny, tříděny. Vlivem unášecí síly vody se transportované částice sedimentují a vznikají tak různě stejnorodé usazeniny a ty následně jsou nazývány zeminami [8].

3.2 VLASTNOSTI ZEMIN

Jelikož je zemina velmi složité nehomogenní prostředí a je rozhodující i vzájemný poměr mezi jednotlivými fázemi, jsou její vlastnosti určovány především zkouškami. Ty mohou pro přesnější analýzu probíhat v prostředí laboratoře nebo v některých případech i přímo v terénu.

Vlastnosti zjišťované laboratorními zkouškami můžeme rozdělit na:

- Fyzikální a indexové vlastnosti (jedná se o kvantitativní popis jednotlivých fází a jejich poměr).
 - o Vlhkost.
 - o Objemová hmotnost.
 - o Zrnitost.
 - o Měrná hmotnost.
 - o Konzistenční meze.
- Mechanické vlastnosti (jedná se o popis zemin při porušení a deformaci).
 - o Pevnost zeminy.
 - o Stlačitelnost zeminy.
 - o Propustnost.
- Mineralogického složení a chemických vlastností.
 - o Chemický rozbor vody.
 - o Obsah síranů, chloridů, vápna, uhličitánů apod.
 - o Určení mineralogického složení [10].

3.2.1 VLHKOST

Póry mezi pevnými částicemi mohou být zcela nebo částečně vyplněny vodou, tu je možné v laboratoři odstranit vysušením v sušárně do stálé hmotnosti při teplotě 105 °C.

Vlhkost w je definována jako poměr hmotnosti vody obsažené v zemině, kterou je možné odstranit vysušením ku hmotnosti suché zeminy. Vlhkost je vyjádřena v procentech [11].

$$w = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100$$

Kde m_w hmotnost vody ve vzorku [g]

m_d hmotnost zeminy po vysušení [g] [11]

3.2.2 OBJEMOVÁ HMOTNOST

Objemová hmotnost zeminy ρ je vyjádřena jednotkovým objemem zeminy i s póry. Ty mohou být zcela či částečně vyplněny vodou nebo vzduchem. Je dána poměrem hmotnosti zeminy a jejím objemem, který má zemina v daném uložení a vypočteme ji ze vztahu:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

Kde m hmotnost vzorku v přirozeném stavu [kg]
 V objem vzorku [m^3]

Objemová hmotnost suché zeminy ρ_d je vyjádřena jako podíl hmotnosti vysušené zeminy při teplotě 105 °C do konstantní hmotnosti a původního objemu zeminy za vlhkého stavu. Objemová hmotnost suché zeminy se vypočte dle vztahu:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01w} \quad (3.2)$$

Kde ρ objemová hmotnost v přirozeném stavu [$\text{kg}\cdot\text{m}^3$]
 w původní vlhkost zeminy [%]

Objemová hmotnost nasycené zeminy ρ_{sat} vypočteme dle vztahu:

$$\rho_{sat} = \rho_d + \rho_w \quad (3.3)$$

Kde ρ_d objemová hmotnost suché zeminy [$\text{kg}\cdot\text{m}^3$]
 n pórovitost [%]
 ρ_w objemová hmotnost vody [$\text{kg}\cdot\text{m}^3$]

Objemová hmotnost zeminy v přirozeném uložení ρ vypočteme dle vztahu:

$$\rho = (1 - n) \cdot \rho_s + n \cdot S_r \cdot \rho_w \quad (3.4)$$

Kde ρ_s objemová hmotnost pevných částic [$\text{kg}\cdot\text{m}^3$]
 n pórovitost [-]
 S_r stupeň saturace [-]
 ρ_w objemová hmotnost vody [$\text{kg}\cdot\text{m}^3$] [10]

3.2.3 MĚRNÁ HMOTNOST

Měrná hmotnost je vyjádřením pro poměr mezi hmotnostmi pevných částic zeminy neboli skeletu a jejich objemem. Tato hodnota se zjišťuje za použití pyknometru, pro různé zeminy jsou voleny pyknometry různého objemu. Voda pevně vázaná v zemině, která není odstraněna ani vysušením do stálé hmotnosti při teplotě 110 ± 5 °C je považována za součást zeminy [12].

Měrnou hmotnost lze vypočítat ze vztahu:

$$\rho_s = \frac{m_s}{[(m_s + m_1) - m_2]} \quad (3.5)$$

Kde m_s hmotnost vzorku vysušené zeminy [g]
 m_1 hmotnost pyknometru se zátkou naplněného destilovanou vodou při teplotě 20 °C [g]
 m_2 hmotnost zeminy v pyknometru se zátkou naplněného vodou při teplotě 20 °C [g] [13].

Tab. 1 lze vidět přibližné rozmezí hodnot měrné hmotnosti pro daný typ zeminy.

Tab. 1 Orientační hodnoty měrné hmotnosti zemin [14]

Zemina	Měrná hmotnost [g/cm ³]
písčité hlíny, písky, prach	2,65
jílovité hlíny	2,65- 2,7
jíly	2,7- 2,8

3.2.4 ZRNITOST

Zrnitost patří mezi nejdůležitější ukazatele, které určují a ovlivňují mnoho půdních vlastností. Zrnitostní složení půdy může být definováno jako poměrné zastoupení samotných půdních částic a jejich velikostních skupin. Přibližné procentuální zastoupení velikosti částic může být posouzeno i v insitu a to vizuální a hmatovou zkouškou [15].

Tvarová rozmanitost pevných částic je velmi široká. Zrna mohou být podobná kouli či kostce, mohou být plochá, podlouhlá a v případě jílů šupinatá, jehličkovitá nebo trubičkovitá, kdy jsou rozměry těchto malých částic běžnými metodami nestanovitelné. Obvykle nahrazujeme skutečný tvar zrna ekvivalentním průměrem d , ten je definován pro sypké zeminy jako průměr kruhového nebo jako délka strany čtvercového síta, přes které může dané zrnko ještě propadnout. V případě jemnozrných zemín je ekvivalent dán průměrem hladkého a kulovitěho zrna o stejné měrné tíze, která ve vodě klesá stejnou rychlostí, jako zkoumaná částice nepravidelného tvaru [8].

4 ZRNITOSTNÍ ANALÝZA

Zrnitostní analýza je metodou, při které dochází ke stanovení procentuálního podílu jednotlivých frakcí zemín. Frakce jsou z pravidla děleny na jíl, prach a písek. Hranice mezi nimi se ale mohou lišit, v závislosti na tom, který z klasifikačních systému je použit [16].

Jednotlivé půdní druhy lze určit i hmatovou zkouškou, která probíhá na principu třením vlhké zeminy mezi prsty ukazováčku a palce. Při tomto procesu se zrna třídí do skupiny jílovité, hlinité a písčité frakce. Laboratorní zkoušky jsou však nutné pro přesnější rozdělení a následné použití hodnocení v praxi [15].

4.1 ZRNITOSTNÍ KŘIVKA

Granulometrické složení zemín je možné graficky znázornit pomocí zrnitostní křivky. Ta je vykreslena jako součtová křivka do systému, kde se na vodorovné ose nachází průměry zrn zobrazené na semilogaritmické stupnici. Na svislé ose se nachází procentuální hmotnostní podíly zeminy. Semilogaritmické měřítko vodorovné osy je použito z vizuálního důvodu, protože menší zrna mají na vlastnosti zeminy jako celku mnohem větší vliv [9].

Logaritmické vykreslení velikosti částic zajišťuje dostatečně přesné znázornění průměru zrn i u nejmenších částic.

Stručný popis zeminy můžeme z křivky zrnitosti získat díky třem základním parametrům. Těmi jsou:

- účinný průměr d_{ef} ,
- číslo nestejnozrnatosti C_u ,
- číslo křivosti C_c .

Účinný průměr je vyjádření pro průměr stejně velkých kulovitých zrn ideální zeminy, která má v daném ohledu totožné vlastnosti, jako zkoumaná zemina. Účinný průměr je obvykle v oblasti malých zrn v intervalu 10 až 20 % hmotnostního podílu. Nejčastěji je vyjádřen jako $d_{ef} = d_{10}$.

Číslo nestejnozmitosti C_u popisuje sklon křivky ve střední části zrnitostní křivky. Ten je charakterizován jako poměr průměrů zrn d_{60} a d_{10} .

$$C_u = d_{60} \cdot d_{10} \quad (4.1)$$

Kde d_{60} průměr zrn při 60% propadu
 d_{10} průměr zrna při 10% propadu

Dle tohoto parametru jsou zeminy děleny na stejnozrné s $C_u < 5$, ty se vyznačují větší pórovitostí, tedy propustností a menší schopností zhutnitelnosti. Dále na prostředně nestejnozrné s C_u z intervalu (5; 15) a nestejnozrné $C_u > 15$. Zeminy nestejnozrné jsou vhodné pro budování zemních těles, jelikož mají plynulou křivku zrnitosti.

Číslo křivosti popisuje tvar zrnitostní křivky. Vypočteme jej z následujícího vztahu:

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \quad (4.2)$$

Kde d_{30} průměr zrna při 30% propadu
 d_{10} průměr zrna při 10% propadu
 d_{60} průměr zrna při 60% propadu

Zrnitostní křivky mohou dosahovat rozmanitých tvarů. V případě dobře zrněné zeminy jsou hodnoty C_c od 1 do 3, hodnoty nižší a vyšší jsou zeminy s chybějícími frakcemi a jsou špatně zrněné. Vzájemné hodnocení je znázorněno v Tab. 2 [8].

Tab. 2 Charakteristika tvaru zrnitostní křivky dle čísla nestejnozmitosti a křivosti [17]

Charakteristika křivky zrnitosti	C_u	C_c
rovnoměrně zrněná	< 3	< 1
špatně zrněná	3 – 6	< 1
středně dobře zrněná	6 – 15	< 1
dobře zrněná	> 15	1 – 3
s chybějícími frakcemi	> 15	< 0,5

5 KLASIFIKACE ZEMIN

Ke klasifikaci půd dochází na základě výsledků laboratorních testů. Zeminy jsou zařazeny do skupin na základě jejich povahy, která je určena pouze složením. V potaz se nebere množství obsažené vody nebo kompaktnost.

Parametry, které se sledují jsou:

- rozdělení velikostí částic,
- plasticita,
- obsah organických látek,
- obsah chemických látek, uhličitan a síran,
- původ ložiska [17].

Klasifikace neboli zařazení zemin znamená rozdělení zemin do skupin, tříd atd. Díky tomuto zařazení jsou zeminy ve skupinách označenými symboly, které zaštiťují skupiny zemin s velmi podobnými a konkrétními vlastnostmi určenými pomocí laboratorních zkoušek a dlouhodobých zkušeností [10].

Hranice mezi těmito skupinami nejsou ale zcela jednotné, mění se jak v čase a vývoji vědy, tak v rámci oblastí použití. Zpravidla se skupina dělí na jíl, prach, písek, štěrk, kameny a balvany. Písek je dále dělen na hrubý, střední a jemný. Štěrk na hrubý, střední a drobný. Prach může být dělen na hrubý, střední a jemný. Dělení u jílu už není tak směrodatné, jelikož vlastnosti zeminy více ovlivňuje mineralogické složení jílových zrn než jejich velikostní zastoupení v rámci jílové frakce. Jestliže zemina obsahuje více skupin, její název je sestaven dle požadovaného klasifikačního systému [8].

V případě jemnozrnných zemin jsou vlastnosti v širším spektru a nejsou tak definované, jako u zemin s většími průměry zrn. Jemnozrnné zeminy jsou velice ovlivněny jejich vlhkostí, která je hlavní parametr ovlivňující jejich vlastnosti a konzistenční meze. Oproti tomu vlhkost u spykých zemin nemá tak velký vliv na vlastnosti [10].

5.1 KLASIFIKACE PODLE KOPECKÉHO

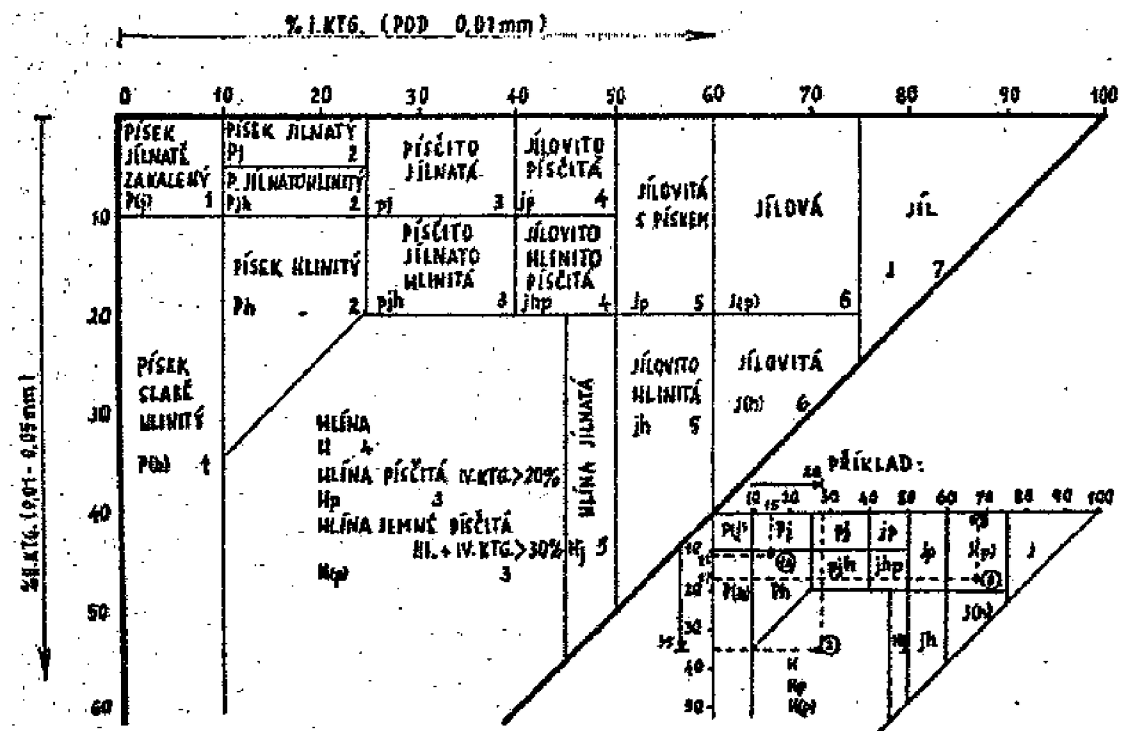
Kopeckého klasifikační systém je sestaven na základě Stokesova zákona a rozděluje jemnozem do čtyř kategorií, které jsou definovány na základě ekvivalentního průměru zrna dle Tab. 3 a Tab. 4 na základě sedimentační rychlosti a sedimentačního času pro danou výšku. Diagram pro klasifikaci lze vidět na Obr. 1 [18].

Tab. 3 Klasifikační systém jemnozeme podle Kopeckého [18]

Kategorie č.	Název kategorie	Ekvivalentní průměr zrn [mm]	
		navržený Kopeckým	podle Stokesa
I	jílové částice	< 0,01	< 0,015
II	prach	0,01 – 0,05	0,015 – 0,048
III	práškový písek	0,05 – 0,10	0,048 – 0,09
IV	písek	0,10 – 2,00	0,09 – 2,0

Tab. 4 Sedimentační rychlost klasifikačních kategorií podle Kopeckého [18]

Kategorie č.	Sedimentační rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	Sedimentační čas pro výšku 20 cm [s]
I	0,2	1000
II	2,0	100
III	7,0	29



Obr. 1 Klasifikační diagram systému podle Kopeckého [19]

5.2 KLASIFIKACE PODLE NOVÁKA

V oblasti pedologie v České republice se k označení půdního druhu v minulosti používal nejčastěji klasifikační systém podle Nováka [6].

V tomto klasifikačním systému je půdní druh stanoven na základě procentuálního zastoupení frakcí. Dle Nováka je rozhodující procentuální zastoupení jemnozeme, přesněji částic o průměru menším jako 0,01 mm. Novákovo rozdělení je v Tab. 5 [20].

Tab. 5 Klasifikace dle obsahu částic jemnozeme podle Nováka [20]

Obsah částic < 0,01 mm [%]	Označení půdního druhu	Značka	Kategorie
0 – 10	písčítá	P	Lehké půdy
10 – 20	hlinitopísčítá	HP	
20 – 30	písčítóhlinítá	PH	Středně těžké půdy
30 – 45	hlinitá	H	
45 – 60	jílovítóhlinítá	JH	Těžké půdy
60 – 75	jílovítá	JV	
> 75	jíl	J	

Zemina je označena za štěrkovitou nebo kamenitou, jestliže obsahuje více jako 75 % skeletu. V případě, že obsah skeletu je menší, je zemina označována dle množství jemnozeme a je k názvu připojeno označení příměsi skeletu dle Tab. 6 [6].

Tab. 6 Pojmenování zemin při obsahu štěrkové a kamenité frakce podle Nováka [6]

Obsah částic > 2 mm [%]	Označení příměsi
10 – 25	slabě štěrkovitá
25 – 50	středně štěrkovitá
50 - 75	silně štěrkovitá

5.3 USDA

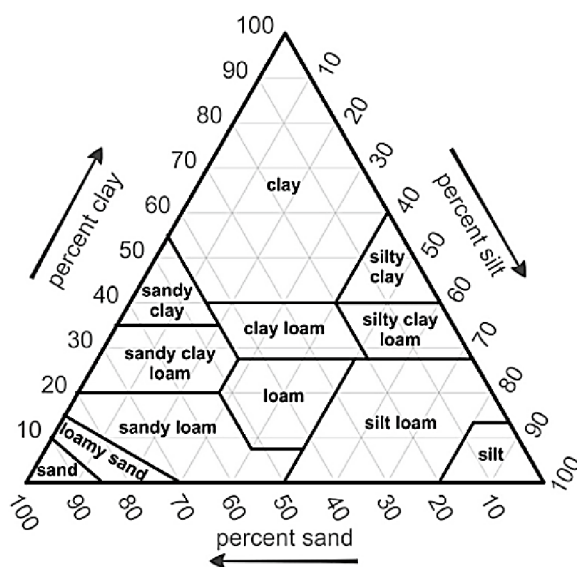
Jeden z celosvětově nejrozšířenějších klasifikačních systémů je U. S. Department of Agriculture, zkráceně USDA. Jelikož je půda složité třífázové prostředí, prošel vývoj klasifikačního trojúhelníku mnoha podobami, revizemi a úpravami, než dospěl do stávající podoby na Obr. 2. Rozhodujícím kritériem pro klasifikaci zemin je procentuální zastoupení jílu, prachu a písku. Klasifikace vychází z klasických metod určujících zrnitostní složení [4].

Systém USDA je sice nejrozšířenějším, ale protože v případě jemnozrných frakcí o vlastnostech zemin nerozhoduje až tak granulometrické složení zeminy, jako spíše plasticita, nemohl být přijat pro účely geotechnického charakteru a inženýrské praxe. Přesto má širokou databázi vzorků a je používán spíše pro agrikulturní účely, jelikož jsou jeho půdní typy definovány pouze dle zastoupení velikostí částic, což zcela nedefinuje veškeré vlastnosti zeminy

Klasifikační systém USDA dělí frakce dle velikosti částic dle Tab. 7.

Tab. 7 Rozdělení dle velikosti částic podle klasifikačního systému USDA [21]

Název	Velikost částic [mm]
šterk	> 2,0
velmi hrubý písek	1,0 – 2,0
hrubý písek	0,5 – 1,0
středně hrubý písek	0,25 – 0,5
jemný písek	0,10 – 0,25
velmi jemný písek	0,05 – 0,10
prach	0,002 – 0,05
jíl	< 0,002



Obr. 2 Klasifikační trojúhelník systému USDA [4]

5.4 FAO

Jedná se o klasifikační systém podobný systému USDA. Označení FAO je zkratkou pro Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO zhotovila v roce 1968 první nadnárodní klasifikaci zemin, ta měla sloužit jako legenda pro následnou půdní mapu světa. Mapa sloužila pro čtení pouze v kontinentálním měřítku, nikoli v místním měřítku a rozdělení zemin bylo velmi jednoduché. První velkou revizí systém prodělal v roce 1988 [22].

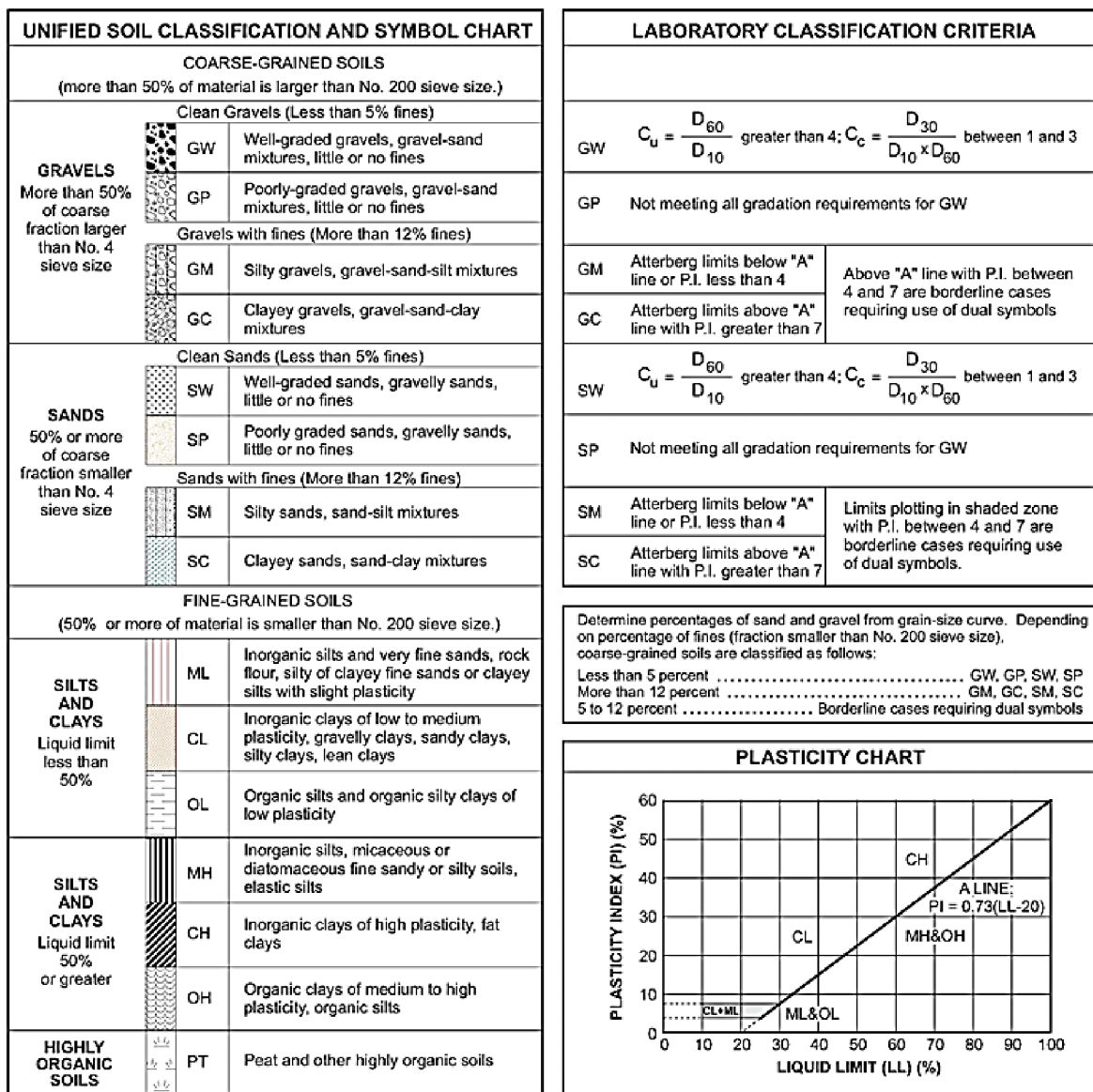
Velikost částic dle toho systému byla pak nově definována i v roce 1990 a srovnání intervalů velikostí pro jednotlivé částice se systémem USDA lze vidět na Obr. 3 [23].

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)	Clay	Silt		Sand				Gravel
		Fine	Coarse	0.125 Very fine	0.2 Fine	0.63 Medium	1.25 Coarse VC	
		0.002	0.02	0.063	0.2	0.63	2 mm	
United States Department of Agriculture (USDA): 1938—	Clay	Silt	Sand				Gravel	
			0.05 Very fine	0.1 Fine	0.25 Medi- um	0.5 Coarse		1 VC ¹⁾
		0.002	0.05	0.1	0.25	0.5	1	2 mm

Obr. 3 Srovnání rozdělení dle velikostí částic klasifikačních systémů USDA a FAO [23]

5.5 USCS

Dalším z celosvětově používaných klasifikačních systémů je Unified Soil Classification System, zkráceně USCS. Poprvé byl aplikován během druhé světové války, při budování letišť. V současné době je běžně používán v širokém poli inženýrské praxe. USCS definuje dle velikosti zrn šterky, písky, hlíny a jíly. Přičemž šterky a písky se řadí do hrubozrnných zemin a hlíny a jíly do zemin jemnozrnných. U jemnozrnných zemin dochází k zařďování pomocí plasticity, musí být zjištěna vlhkost na mezi tekutosti w_L a vlhkost na mezi plasticity w_P a následně vypočítán index plasticity I_P . Není možné se řídit pouze definicí velikosti částic pro jednotlivé frakce dle Tab. 8, je ale nutné v případě zrn o velikosti menší jako 0,075 mm zajistit klasifikace dle diagramu plasticity na Obr. 4. Šterky a písky jsou analyzovány pouze podle velikosti zrn. Dle Obr. 4 jsou zřejmá také kompletní pravidla klasifikace [24].



Obr. 4 Pravidla zařďování a diagram plasticity podle klasifikačního systému USCS [24]

Tab. 8 Zatřídění dle velikosti částic podle klasifikačního systému USCS [25]

Název	Velikost částic [mm]	
štěrk	4,75 – 75	
písek	hrubozrnný	2,0 – 4,75
	střednězrnný	0,42 – 2,0
	jemnozrnný	0,075 – 0,42
prach	0,002 – 0,075	
jíl	< 0,002	

Index plasticity I_P vypočítáme dle následujícího vzorce:

$$I_P = w_L - w_P \quad (5.1)$$

kde w_L vlhkost na mezi tekutosti
 w_P vlhkost na mezi plasticity [11]

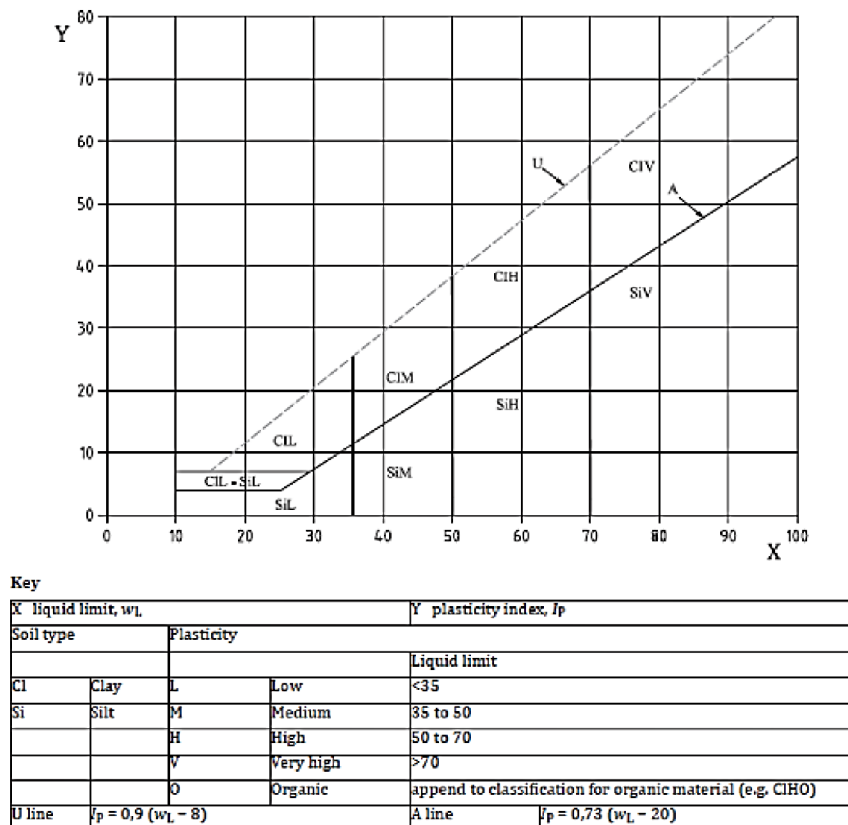
5.6 Klasifikace podle ČSN EN ISO 14688-2 Geotechnický průzkum a zkoušení

Klasifikace dle současně platné normy ČSN EN ISO 14688-2 prováděná na základě laboratorních zkoušek. Hrubé a velmi hrubé částice jsou klasifikovány pouze na základě procentuálního zastoupení zjištěného proséváním. Kdežto zeminy s obsahem jemných částic musí být analyzovány kombinací metod prosévání i sedimentace. Výsledné hodnoty jsou použity pro klasifikace dle Tab. 9 [17].

Tab. 9 Zásady klasifikace zemin podle ČSN EN 14688-2 [17]

Skupina zemin	Množství částic	Zařazení do skupin		
		Primární frakce	Složené frakce	
Velmi hrubozrnná	>50 % částic ≥ 200 mm	Balvany (Bo)	Balvany s kameny	Balvany s příměsí jemnější zemin
	>50 % částic <200 mm a současně ≤ 63 mm	Kameny (Co)	Kameny s balvany	Kameny s příměsí jemnější zemin
Hrubozrnná	>50 % částic <63 mm a současně ≥ 2 mm	Štěrk (Gr)	Štěrk s kameny Štěrk Písčítý štěrk s kameny	Štěrk písčítý Štěrk s příměsí jílu nebo prachu
	>50 % částic <2 mm a současně $\geq 0,063$ mm	Písek (Sa)	Štěrkopísek Písek	Písek s příměsí jílu nebo prachu
Jemnozrnná	Neplastické nebo s nízkou plasticitou	Hlína (Si)	Hlína písčítý	Hlína písčito-štěrkovitý
			Hlína jílovitá Jíl hlinitý	Hlína písčito-jílovitý
	Plastické	Jíl (Cl)	Jíl štěrkovito-písčítý	
Organická		Rašelina (Pt) Gyttja (Gy) Dy (Dy) Humus (Hu)	Písčítá rašelina Písčito-jílovitá gyttja	

Klasifikace jemnozrnných zemin, nebo jemných frakcí v zeminách obsahujících část hrubozrnné frakce, by měla být provedena na základě laboratorně stanovené plasticity. Proto je nutné zjištění indexu plasticity I_p , jež je stěžejní pro vyhotovení správné klasifikace zrn menších než 0,063 mm, aby mohlo dojít ke konečnému zatřídění dle diagramu plasticity na Obr. 5 a určení odpovídajícího názvu zeminy [17].



Obr. 5 Diagram plasticity pro klasifikaci podle ČSN EN 14788-2 [17]

5.7 Klasifikace podle ČSN 73 1001

Tento klasifikační systém, je stále rozšířený a používaný, i přesto že legislativně už není platný. Jeho základními klasifikačními skupinami jsou:

- F – zeminy jemnozrnné, označovány symboly F1 až F8
- S – zeminy písčité, označovány symboly S1 až S5
- G – zeminy štěrkovité, označovány symboly G1 až G5

Stejně jako u dalších klasifikačních systémů, je rozpoznávacím znakem zrnitostní složení a současně u zemin obsahujících více jako 15 % jemnozrnných částic je další klasifikační podmínkou plasticita, přesněji konzistenční meze [26].

Podle velikosti částic se rozlišují složky a symboly dle Tab. 10 a Tab. 11.

Tab. 10 Rozdělení dle velikosti částic podle ČSN 73 1001 [11]

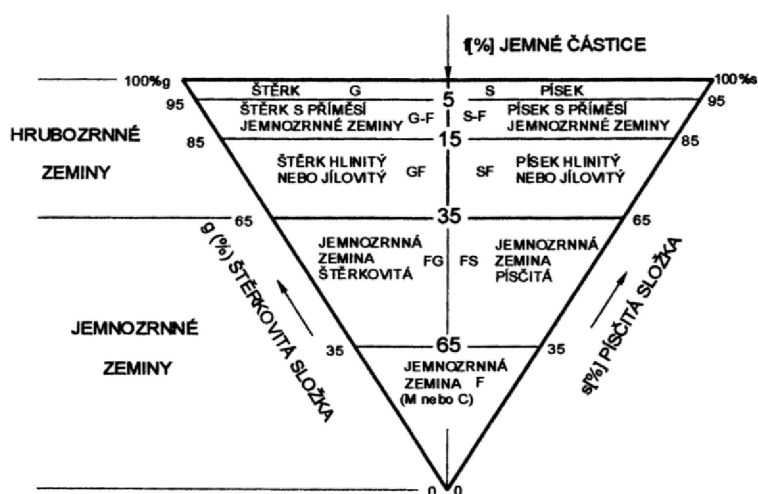
		Označení	Velikost částic
velmi hrubé částice	balvanitá složka	b	> 200 mm
	kamenitá složka	cb	200 až 60 mm
hrubé částice	šterkovitá složka	g	60 až 2 mm
	písčítá složka	s	2 až 0,06 mm
jemné částice	prachovitá složka	m	0,06 mm
	jílovitá složka	c	< 0,002 mm

Tab. 11 Základní názvy a symboly zemín podle ČSN 73 1001 [11]

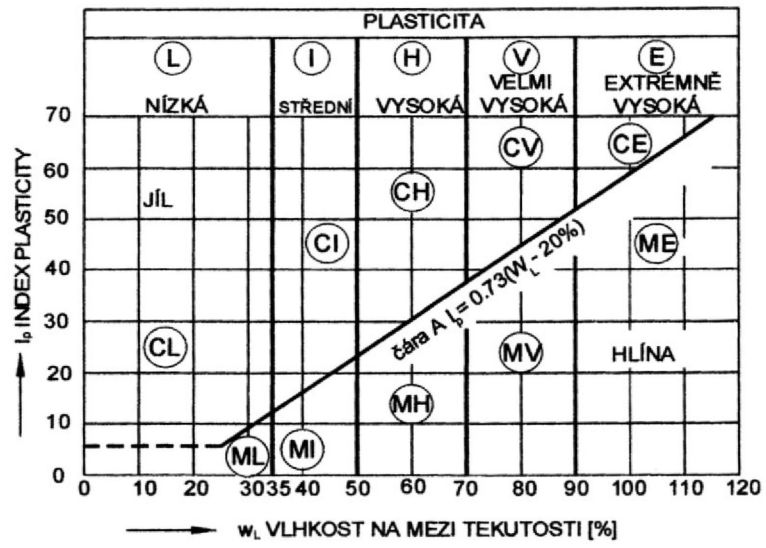
< 0,002 mm	0,002 až 0,06 mm	0,006 až 60 mm	60 až 200 mm	< 200 mm	
jemnozrnné zeminy		hrubé zeminy		velmi hrubé zeminy	
dle diagramu plasticity					
jíl C	hlína M	písek S	šterk G	kameny Cb	balvany B

Pro klasifikaci se do zrnitostního rozboru separují částice menší než 60 mm. Větší, tedy velmi hrubé částice se odstraňují ze vzorku pro zrnitostní rozbor ručně a jejich hmotnost je zaznamenána do celkového hmotnostního podílu vzorku. Po analýze jemnější složky vzorku se postupuje dle trojúhelníkového diagramu, ve kterém je rozhodující hmotnostní poměr mezi zemínou jemnozrnnou, písčitou a šterkovitou.

Princip klasifikace je vysvětlen na Obr. 6, kdy při vynesení jednotlivých složek zemín je zjištěn název s příslušným označením. Jinak tomu je při hmotnostním podílu složky f při více jako 65 %. V tomto případě musí být klasifikace dokončena pomocí diagramu na Obr. 7. K tomu je třeba zjištění vlhkosti na mezi plasticity w_p , vlhkosti na mezi tekutosti w_L a následného indexu plasticity I_p [10].



Obr. 6 Trojúhelníkový diagram pro klasifikaci zemín podle ČSN 73 1001 [27]



Obr. 7 Diagram plasticity pro jemnozrnné zeminy [28]

6 ODBĚR VZORKU

Odběr vzorku zeminy je jednou z nejdůležitějších částí inženýrskogeologického průzkumu. Jejich počet, povaha a rozmístění v terénu se určuje dle potřeb a povahy stavby, či účelu, za kterým jsou odebírány.

Odběr vzorku je řazen do odkryvných prací, ty jsou děleny na:

- vrtné,
- kopné,
- hornické.

Vrtnými pracemi jsou získávány vzorky udávající geologickou skutečnost podle materiálu získaného pomocí vrtného nástroje. Podle technologie a účelu jsou rozlišovány například vpichy, rotační jádrové vrty, rotační jádrové hydrogeologické vrty, nárazovotočivé vrty a hydrogeologické vrty, velkopřůměrové vrty a vibrační vrty.

Kopné a hornické práce jsou prováděny ručně nebo za použití malé mechanizace. Musí být paženy, tak aby bylo možné pažení částečně odstranit a pozorovat zeminu a horninu na stěně. Nejpoužívanější typy kopných prací jsou kopané sondy, rýhy, štoly a šachtice [29].

Pro laboratorní zkoušky jsou vzorky zemin vybírány pečlivě. Nejde o náhodný výběr místa odběru, nýbrž je kladen důraz na maximální reprezentativnost. Odebrané vzorky zeminy by měly být co nejvíce podobné zemině v přirozeném uložení a přirozeném stavu, a to takovém, jako se vyskytovala těsně před zásahem. Je nutné vzorek zeminy odebírat s ohledem na budoucí prováděné zkoušky. V případě provádění zkoušek fyzikálních, vzorky mohou být tvořeny nepravidelnými menšími úlomky. Pro zkoušky přetvárnosti a pevnosti musí být vzorky větších rozměrů, aby bylo možné vytvořit zkušební tělesa požadovaného tvaru. Vzorky zeminy musí být odebrány s důrazem na zkouškou postihnutou vlastnost, která by měla odpovídat průměrné vlastnosti zeminy. Vhodnost místa odběru, velikost a počet vzorku negativně ovlivňuje i strukturní a látková nehomogenita.

Velikost vzorku má být taková, aby v minimálním objemu horniny splňovala maximální reprezentativnost, tedy aby bylo zachyceno průměrné složení horniny a tím i výstupy zkoušek poskytovaly kompletní průměrné charakteristiky dané oblasti [30].

7 PŘEDBĚŽNÁ ÚPRAVA VZORKU

Hlavním cílem před počátkem zkušebních metod je docílit dokonalé disperze částic půdního vzorku. První z cílů je odstranění tmelících organických látek jako jsou oxidy železa a hliníku a uhličitanu vápenatého. Druhým cílem je dokonalé mechanické fyzikální oddělení jednotlivých částic. Disperse může být v některých případech obtížná, a to za přítomnosti amorfních minerálů a organických látek ve velkém množství. Dispersi se docílí inaktivací nebo odstraněním flokulačních nebo cementačních činidel. Nejpoužívanějším dispergačním činidlem je peroxid vodíku H_2O_2 , který dokáže oxidovat organické látky na oxid uhličitý a vodu. Rozpustné soli a ionty jsou používány pro jejich flokulační vlastnosti a jsou aplikovány opakovaným promýváním a louhováním vzorků zeminy. Zředěnou kyselinou chlorovodíkovou HCl je odstraňována cementační vlastnost uhličitanu vápenatého $CaCO_3$ [21].

Pro odstranění organické složky ze zkušebního vzorku zeminy pomocí peroxidu vodíku H_2O_2 je nutné vzorek zvážit a stanovit jeho vlhkost. Následně je přidáván peroxid vodíku v maximálních dávkách 20 ml. Toto množství v jedné dávce by nemělo být překročeno a současně by měla být další dávka přidána až po ukončení úvodní reakce vyplývající z dávky předchozí. Poté je směs promíchána, přikryta a ponechána do dalšího dne při pokojové teplotě. Směs je dále za občasného míchání přivedena k varu a redukována na požadované množství. Po vysušení je zemina zbavena organických látek a připravena pro zkoušení. Stejný postup lze zvolit i pro odstranění nežádoucích uhličitánů, je ale použita místo peroxidu vodíku kyselina chlorovodíková HCl [31].

Další možností odstranění organických látek a současně uhlíku je žihání. K žihání dochází v peci při teplotě 525 až 575 °C. Z rozdílu hmotností před a po žihání může být stanovena ztráta. Prvním krokem je zajištění sušiny, té je docíleno sušením zeminy po dobu 2 hodin při teplotě 105 °C. Poté je část této zeminy přibližně o hmotnosti 5 g přesně zvážena a žihána po dobu 1 hodiny nebo po dobu 4 hodin. V druhém případě už nemusí být kontrolována konečná hmotnost, která se považuje za konstantní. V prvním případě se nesmí rozdíl hmotností mezi váženými po 1 hodině žihání a po dalších 30 minutách lišit o více jako 0,5 % nebo o 2 mg. Při nesplnění této podmínky, hmotnost není ještě konstantní a je pokračováno v žihání [32].

8 METODY

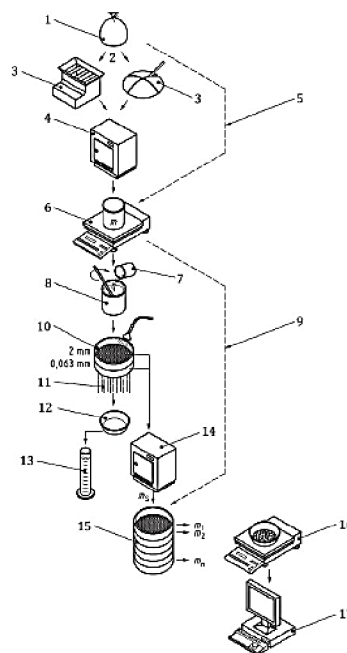
Ke správné volbě zkušební metody nebo jejich kombinaci podle ČSN EN 17892-4 je možné dojít následovně:

- v případě, že vzorek zeminy obsahuje méně než 10 % zrn menší velikosti než 0,063 mm, není nutné provádět sedimentační zkoušku,
- v případě, že ve vzorku nejsou obsažena zrna větší než 2 mm a obsah zrn větších než 0,063 mm je zastoupen v podílu menším než 10 %, není doporučeno provádět prosévání.
- v ostatních případech se zrnitost určuje za kombinace sedimentační i prosévací zkoušky [32].

Volba metody je stěžejní pro správný výsledek. Hrubo zrné materiály jsou snáze analyzovatelné, kdežto jílová frakce je v případě prosévání nezjistitelná a v případě sedimentačních zkoušek často nadhodnocována. Jako další se nabízí určení zrnitosti pomocí laserové difrakce, tato nová metoda jílové frakce naopak může podhodnocovat. Je tedy obtížné přesné určení částic menších než 0,002mm. Současně je z pohledu zrnitostního složení zkoumán pouze rozměr částice, ale její mineralogické složení, a tedy i řada vlastností může být při stejných či podobných rozměrech úplně odlišné. To hraje největší roli u jemných částic a především jílu [4].

8.1 PROSÉVACÍ ZKOUŠKA

Prosévání je jednou z nejrychlejších zkušebních metod. Může být provedeno jak suchým, tak mokrým způsobem. Mokrý způsob je vhodný pro zeminy obsahující částice menší jako 0,063 mm. V prvním případě je vysušená zemina o známé hmotnosti proseta přes sadu sít ručně, případně za pomoci mechanické prosévačky. Propad přes nejmenší síto a všechny zbytky na všech sítích jsou jednotlivě zváženy, jejich podíl je vyjádřen v procentech původní hmotnosti navážky a součet těchto kumulativních hmotností by se neměl lišit o více jako 1 % oproti hmotnosti vstupního vzorku. Snahou je se vyhnout slepení částic, pokud k tomuto jevu dochází, je nutné zeminu před rozbořem rozmělnit v třecí misce, případně pak nejmenší částice odmočit ve vodě, nechat usadit a přesít zvlášť. Postup prosévání je zřejmý z Obr. 8 [31].



Legenda

- | | | |
|---------------------------|--|-------------------------------------|
| 1 vzorek | 7 dispergační činidlo | 13 sedimentační zkouška (nepovinné) |
| 2 postup pro suchý vzorek | 8 máčení a míchání | 14 vysušení zachyceného materiálu |
| 3 dělení nebo kvartace | 9 suché třídění (alternativní metoda) | 15 prosévání |
| 4 sušení | 10 separace a promývání | 16 vážení zůstatku na každém síti |
| 5 postup pro vlhký vzorek | 11 voda s jemnou frakcí | 17 vyhodnocení |
| 6 vážení | 12 zachycený materiál < 0,063 mm (nepovinné) | |

Obr. 8 Postup při prosévání [31]

Z této metody většinou vycházejí metody sedimentační. Jedná se o základní zkoušku, kterou lze provádět na vlhkém i suchém vzorku [31].

Příčemž standardní metoda mokrého prosévání je prováděna přes ocelové síto pro oddělení a kvantifikaci distribuce jednotlivých skupin šterků a písků. Směs prachu a jílu je, stejně jako u suché varianty analýzy, zanedbána a v této metodě běžně nezachycena. Zkušební vzorek je promýván a třen na sítu. Po odpaření vody může být použita metoda suchého prosévání, kdy dochází za pomoci sít o daných velikostech k dalšímu detailnějšímu rozdělení šterku a písku. Ocelová síta však mají nízký limit pro minimální velikost oka, jsou tedy v těchto případech nahrazována nylonovými. Pro rozřídění zrn o velikosti menší než 0,063 mm nebo jak udává daný klasifikační systém, jsou standardně používány přesnější sedimentační metody [33].

V minulosti mohly být používány další typy separačních pomůcek, které oddělovaly částice o menších průměrech než klasická normovaná síta dnešní doby. Byla používána síta porcelánová nebo býval používán filtrační papír, tato metoda byla prováděna za mokra a podobala se klasické filtraci [18].

8.2 SEDIMENTAČNÍ METODY

Mezi sedimentační metody patří často používaná hustoměrná a pipetovací metoda, ty jsou založeny na Stokesově zákoně a je předpokládáno, že zrna zeminy jsou dokonale kulovitěho tvaru. Současně musí být zeminy před začátkem zkoušek předupraveny. V tomto případě může dojít k odlišným výsledkům z pohledu zvoleného typu úpravy nebo koncentrace suspenze. Sedimentační zkoušky jsou časově velmi náročné a vyžadují spoustu potřebných kroků jak v samotném zkoušení, tak při úpravě. Je také nutné dodržovat v průběhu měření konstantní prostředí, například pomocí vodní lázně s neměnnou teplotou, aby bylo zabráněno změně hustoty a objemu suspenze a tím nežádoucího ovlivnění výsledků měření [33].

8.2.1 DEKANTAČNÍ METODA

Třídění částic zeminy ve vodním prostředí prošlo značným vývojem. Další používanou metodou byla například metoda dekantační. Provádí se v dekantačním válci na principu opakované sedimentace, kdy po uplynutí dané sedimentační doby se slévá voda s ještě neusazenými částicemi [18].

8.2.2 VYPLAVOVACÍ METODA

Jedná se o další z metod, která funguje, při zachování určitých pravidel, na principu Stokesova zákona. Vyplavovací metoda pracuje na principu třídění pomocí unášecích sil vodního proudu, který vystupuje ve válci a působí proti tíhové síle unášených částic. Částice, jejichž sedimentační rychlost je větší než rychlost vodního laminárního proudění, klesají ke dnu. Ty částice jejichž sedimentační rychlost je menší než rychlost proudu vody, jsou odplaveny.

Nejúčinnější z vyplavovacích metod se jeví metoda Kopeckého, prováděna v Kopeckého plavicím přístroji, sestaveného ze tří skleněných válců různého průměru, kterými postupně protéká proud vody přivedený gumovými hadicemi. Tento aparát dokáže třídít zrna do čtyř kategorií podle Kopeckého klasifikačního systému dle Tab. 3 [18].

Nevýhodou metody je, že se pro vyplavování používá vodovodní voda, jejíž vlastnosti výsledky ovlivňují. Další nevýhodou je, že veškeré ztráty jsou zahrnuty do I. Kategorie, jež je nejjemnější a bývá hlavním určujícím faktorem pro určení půdního druhu [15].

8.2.3 HUSTOMĚRNÁ METODA

Hustoměrná metoda neboli areometrická patří mezi metody neopakované sedimentace. Je využíváno speciální zařízení zvané hustoměr, jež monitoruje hustotu suspenze v kapalině, současně se sleduje změna hustoty této suspenze v závislosti na době sedimentace částic o různé velikosti. To znamená, že s rostoucím časem klesá hustota suspenze a během jednoho usazovacího procesu jsou uskutečněna všechna měření [15].

Tato metoda je vhodná pro frakce menší než 0,063 mm a v odměrném válci, ve kterém zkouška probíhá nesmí být přítomen materiál větší než 2 mm. Pro zajištění tohoto požadavku samotné zkoušce předchází síťový rozbor. Postup kombinace metod lze vidět na Obr. 9. Současně musí dojít k předběžné úpravě vzorku pro odstranění organických nebo uhlíkatých látek v případě, že se vyskytují ve významném množství [31].

U hustoměrné metody jsou určovány ekvivalentní průměry malých zrn na základě usazovací rychlosti. Teoretickým základem je Stokesův zákon, ze kterého je odvozena rychlost sedimentace jediné hladké a kulovité částice ve vodním prostředí [8].

$$v = \frac{2}{9} \cdot g \cdot \frac{\rho_s + \rho_w}{\eta} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (8.1)$$

Kde v rychlost usazování částic v suspenzi [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
 g gravitační konstanta [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
 ρ_s objemová hmotnost pevných částic [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
 η dynamická viskozita [$\text{m}^{-1}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]
 d průměr zrn [m] [10]

Hodnota dynamické viskozity může být odečtena z Tab. 12, vypočtena interpolací nebo vypočtena pomocí vztahu (předpokládá se, že hustota dispergačního činidla je shodná s hustotou vody):

$$\eta = 0,02414 \cdot 10^{\frac{247,8}{(T+33)}} \quad (8.2)$$

Kde T zkušební teplota v intervalu teplot 10 až 30 °C [°C] [31]

Tab. 12 Dynamická viskozita vody [31]

Teplota °C	Viskozita η mPa·s
10	1,304
15	1,137
20	1,002
25	0,891
30	0,798

Vstupní vlhký vzorek by měl mít hmotnost takovou, aby z něj bylo možno získat 20 až 30 g frakcí menších než 0,063 g. Vzorek zeminy je ošetřen dispergačním činidlem pro odstranění organických látek. Pro zjištění vlivu dispergačního činidla na hustotu destilované vody se vytvoří referenční roztok. Dále jsou používané hustoměry a odměrné válce podrobeny zkouškám a měřením pro získání opravných koeficientů a nezbytných hodnot do výpočtu. Zaznamenává se například změna hustoty roztoku z důvodu použití dispergačního činidla, menisková korekce, zkoumá se možné posunutí stupnice hustoměru, průřezová plocha odměrného válce, objem baňky hustoměru, počet dílů na hustoměru. Měření začíná mícháním suspenze ve zkušebním odměrném válci do doby, než jsou všechna zrna ve vznosu. V momentě zastavení míchání jsou spouštěny stopky a ihned je do odměrného válce vložen hustoměr. Čtení je provedeno v krátkých časových intervalech, nejméně 3 krát v prvních 5 minutách (např. 0,5, 1, 2 min). Po těchto čteních je hustoměr vyjmut a opláchnut destilovanou vodou. Další čtení jsou provedena ve zvolených intervalech, například po 1, 2, 6, a 24 hodinách. Současně je při každém z odečtů sledována a zapisována teplota suspenze, pro korektury při vyhodnocení z důvodu změny hustoty [31].

Dále se známé hodnoty pro získání procentuálního podílu hmotnostního zastoupení a průměrů částic vyhodnocují početně.

Obsah částic v daném čase měření O lze získat ze vzorce:

$$O = \frac{100}{s} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_s - 1} (R + c_1 + m) \quad (8.3)$$

Kde	s	hmotnost zeminy k analýze přepočtená na sušinu [g]
	ρ_s	měrná hmotnost zeminy [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]
	R	hustoměrné čtení [-]
	c_1	menisková korekce [-]
	m	teplotní korekce [-]

Teplotní korekci lze vypočítat ze vzorce:

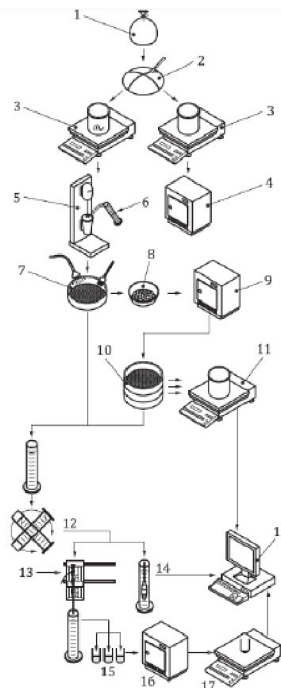
$$m = 0,0055 \cdot T^2 - 0,0373 \cdot T - 1,44 \quad (8.4)$$

Kde	T	teplota suspenze [$^{\circ}\text{C}$]
-----	-----	---

Průměr částice D dle Stokesova zákona lze vypočítat dle vzorce:

$$D = 10 \sqrt{\frac{18 \cdot \eta \cdot H}{g \cdot t(\rho_s - \rho_o)}} \quad (8.5)$$

Kde	η	dynamická viskozita vody [$\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$]
	H	daná hloubka hustoměru s suspenzí [cm]
	ρ_s	měrná hmotnost zeminy [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
	ρ_o	měrná hmotnost vody [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
	g	gravitační zrychlení [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-2}$]
	t	čas měření [s] [34]



Legenda

1 vzorek	7 separační síto	13 pipetovací metoda
2 kvartace	8 odpařovací miska	14 hustoměrný rozbor
3 vážení	9 sušení materiálu > separační síto	15 pipetované vzorky
4 sušení pro stanovení vlhkosti	10 prosévání	16 sušení pipetovaných vzorků
5 máčení a míchání	11 vážení	17 vážení pipetovaných vzorků
6 dispergační činidlo	12 suspenze	18 vyhodnocení

Obr. 9 Postup při kombinaci prosévání a hustoměrné metody [31]

8.2.4 PIPETOVACÍ METODA

Stanovení distribuce velikosti částic je základní charakteristikou zemin a pipetovací metoda je jednou z nejpoužívanějších po dlouhá desetiletí. Nicméně je tato metoda velice časově náročná, je založena na sedimentaci částic. Není zcela vhodná pro zeminy s obsahem jílové frakce, a především jílových zrn destičkovitého tvaru, jelikož obsah těchto zrn bývá ve výsledku nadhodnocen [35].

Pro dobrou disperzi a v případě nutnosti odstraňování organických látek obsažených v zemině je vhodné po úplném vysušení vzorek přesně zvážit a poté až vytvořit pastu, kterou je potřeba ošetřit 30% roztokem peroxidu vodíku H_2O_2 , jež zapříčiní rozklad nežádoucích organických látek. Lepší disperze je docíleno přidáním hexametafosforečnanu sodného $(NaPO_3)_6$ [35].

Vzorek pro pipetovací metodu nesmí obsahovat částice větší než 2 mm a je připravován na stejném principu, jako vzorek pro hustoměrnou metodu. Kombinaci pipetovací metody a prosévání lze vidět na Obr. 10, Připravený vzorek je umístěn do odměrného válce a objem je doplněn po referenční rysku 1 l. Následně dochází k promíchání objemu, tak aby byla všechna zrna ve vznosu. Ihned po tomto úkonu jsou zapnuty stopky a nad zkušební válec je umístěn aparát s pipetou. Hloubka ponoření pipety při odběru suspenze není přesně definovaná. Ovlivňuje ale časové intervaly mezi jednotlivými odběry, jež jsou přizpůsobovány průměrům zrn, které se chtějí zachytit. Vhodné je odběry vykonávat v sedimentačních časech částic, které odpovídají hranicím mezi jednotlivými frakcemi u zvoleného klasifikačního systému. Každé z měření trvá stejný čas, přibližně 10 s ponoření pipety, 10 s sání a 10 s vyjmutí pipety. Je odebrán vždy totožný objem suspenze, který je následně celý přemístěn do suché a předem zvážené nádoby vhodné k následnému umístění do sušárny. Po vysušení vzorků v sušárně při teplotě 105 °C do konstantní hmotnosti je miska s obsahem zachycených suchých částic zvážena.

Je také odebrán referenční vzorek z roztoku dispergačního činidla a destilované vody. A je následně po vysušení stanovena hmotnost odparku.

Současně je během celého měření sledována teplota suspenze pro eliminaci chyb vzniklých nekonstantním prostředím [31].

Vztah mezi časy sedimentace a pipetovacími hloubkami pro daný průměr částic v gravitačním poli vychází ze Stokesova zákona:

$$T = \frac{9 \cdot h \cdot \eta}{2 \cdot g \cdot r^2 (\rho_s - \rho_k)} \quad (8.6)$$

Kde	h	dráha pádu částice [m]
	η	dynamická viskozita kapaliny za dané teploty [$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]
	g	tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
	r	poloměr částice [m]
	ρ_s	měrná hmotnost částic [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
	ρ_k	měrná hmotnost kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] [15]

Výpočty pro dané zmitostní kategorie jsou následně po měření vyhodnoceny dle skupiny vzorců:

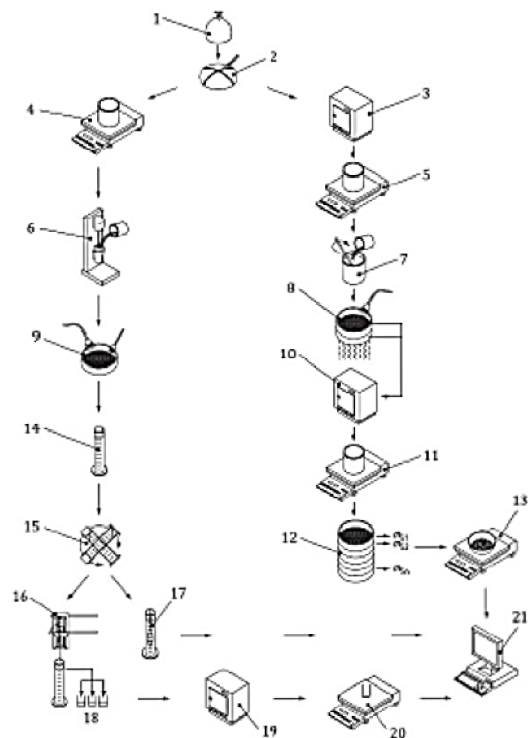
$$IV. \text{ kategorie} = \frac{D}{m_d} \cdot 100 \quad (8.7)$$

$$III. \text{ kategorie} = \frac{(A_1 - C) \left(\frac{1000}{V} \right)}{m_d} \cdot 100 \quad (8.8)$$

$$II. \text{ kategorie} = \frac{(A_2 - C) \left(\frac{1000}{V} \right)}{m_d} \cdot 100 \quad (8.9)$$

$$I. \text{ kategorie} = \frac{(A_3 - C) \cdot \left(\frac{1000}{V} \right)}{m_d} \cdot 100 \quad (8.10)$$

Kde	D	hmotnost odparku frakce zrn větších než daná horní hodnota [g]
	A	hmotnost odparku pro danou frakci [g]
	C	hmotnost odparku z referenčního vzorku [g]
	m_d	hmotnost suchého vzorku zeminy [g]
	V	pipetovaný objem [ml] [15]



Legenda

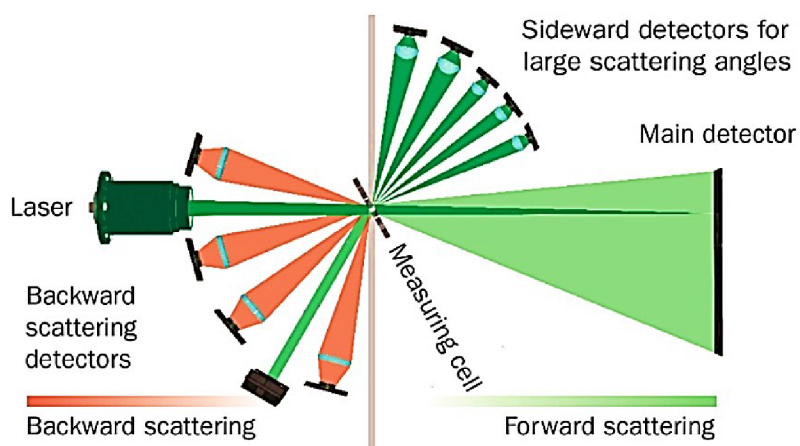
- | | |
|---|--|
| 1 vzorek | 12 prosévání |
| 2 kvartace | 13 vážení zůstatku na každém síti |
| 3 sušení | 14 sedimentační zkouška (zvolená metoda) |
| 4 vážení vzorku na sedimentační zkoušku | 15 promíchávání |
| 5 vážení vzorku na prosévání | 16 pipetovací metoda |
| 6 míchání a dispergace | 17 hustoměrný rozbor |
| 7 máčení a dispergace | 18 pipetované vzorky |
| 8 separace a promývání | 19 sušení pipetovaných vzorků |
| 9 separace a promývání | 20 vážení pipetovaných vzorků |
| 10 sušení | 21 vyhodnocení |
| 11 vážení | |

Obr. 10 Postup při kombinaci prosévání a pipetovací metody [31]

8.3 METODA LASEROVÉ DIFRAKCE

Tato metoda je vhodná pro jemné frakce, jelikož rozsahy měřicích přístrojů jsou široké a dokáží měřit už částice o velikosti $0,04 \mu\text{m}$. Pro analýzu je potřeba vzorek o hmotnosti jednotek gramů. Princip metody spočívá v průchodu paprsků laseru přes vodní suspenzi, do které je pipetou aplikován dispergovaný vzorek. Následně je možné měřit hustotu suspenze a velikost samotných částic. Laserová difrakce je vhodná pro prachovité a jílové sedimenty, jelikož se množství materiálu velikostně spadajícího do intervalu měřicího přístroje aplikuje v řádech desetin gramů [16].

Společně s prováděním tohoto typu analýzy stojí za zvážení provedení i síťového rozboru pro oddělení hrubších frakcí. Na rozdíl od síťového rozboru, kdy je zjišťována hmotnost frakce, u metody laserové difrakce je měřen přímo rozměr částice. Metoda je založena na principu měření rozměru částice v kolmém směru k ose laserového svazku. Není brán v potaz skutečný tvar částic, při měření jsou doplněny tvary zrn na kulové těleso. Metoda se vyznačuje vysokou přesností a rychlostí měření. Na Obr. 11 lze vidět pracovní schéma laserového difraktometru [36].



Obr. 11 Schéma principu laserového difraktometru [37]

Metoda laserové difrakce je moderní metodou, která bere v úvahu čtyři typy interakcí mezi částicemi zeminy a laserem. Jedná se o:

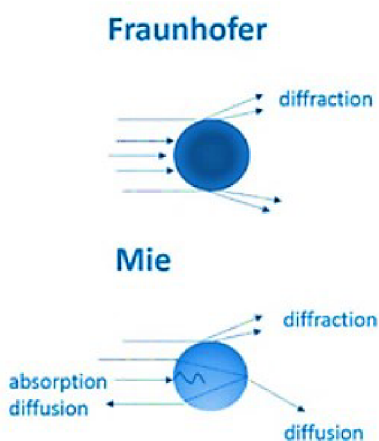
- difrakci na povrchu částice,
- odraz na povrchu i vně částice,
- refrakci na hranici médium - částice a částice – médium,
- absorpci uvnitř částice.

Pokud nejsou splněny následující požadavky výsledky měření mohou být zkreslené. Při metodě se předpokládá, že všechny částice jsou:

- sférické,
- izotropní,
- opticky homogenní,
- částice nemají povrchový náboj, tudíž ani elektrostatický náboj,
- orientace částic ve vztahu ke zdroji, který je osvětluje je náhodná,
- veškeré částice jsou osvětleny světlem známé vlnové délky,
- je známá hodnota indexu lomu a absorpce částicemi i médiem,
- poloměr částic je výrazně menší než vlnová délka dopadajícího světla.

Dalším nutným krokem při zjišťování velikosti částic touto metodou je volba matematického modelu rozptylu světla mezi částicemi a jeho následné použití [1].

Difrakční metoda je nepřímá optická metoda, neměří se přímá velikost částic, nýbrž rozptyl elektromagnetických vln na částicích. Pro vyhodnocení se v současné době používají dvě teorie, jejich princip lze vidět na Obr. 12. První z nich je Fraunhoferova, která je vhodnější pro použití pro částice tvaru disku a větší částice o neznámých optických parametrech. Popisuje čas výchylky světla vznikající na základě difrakce. Teorie Mieho funguje na principu předpovědi rozptylu světla kulovitými částicemi a bere v potaz i průchod světla těmito částicemi nebo jeho pohlcení. Používá se v případě, že jsou analyzovány částice o velikosti menší, než je rozsah vlnových délek zdroje laserového záření a v případě, že jsou známé materiálové vlastnosti jako absorpce a index lomu částic. Tyto vlastnosti mohou být také odhadnuty [38].



Obr. 12 Teorie Fraunhofer a Mie používané pro vyhodnocení metody laserové difrakce [39]

Laserové difraktometry bývají opatřeny ultrazvukem, jež dokáže rozbít agregáty zm, které by mohly při měření a následném vyhodnocení vytvářet velkou nepřesnost. Ultrazvuk v zařízení pracuje na frekvenci okolo 36 kHz a má nastavitelný rozsah účinku [38].

Vzorek zeminy musí být před podrobením analýze vysušen. Nedoporučuje se při užití této metody provádět sušení v peci při vyšších teplotách, je dokonce i zbytečné. Mnohem vhodnější je sušení na vzduchu, protože nedochází k pomalu vratným nebo dokonce nevratným změnám jako k dehydrataci pojiv nebo ke změně půdní organizace a následnému vzniku stabilních půdních agregátů. Vzorky je po vysušení možné skladovat, ale doba skladování může také vést k nevratným změnám, jako je stabilita agregátu, či úplné ztvrdnutí některých typů půd.

V dalším kroku přípravy vzorku pro analýzu je nutné zeminu rozmělnit a prosít tak, aby byly odstraněny především větší částice jako štěrk, kamenná drť atd. Velikost ok prosévacího síta je závislá především na měřicím rozsahu přístroje, který se obvykle pohybuje v rozsahu do 2 mm. Je tedy k tomuto úkonu vhodné zvolit síto o průměru oka 2 mm nebo menší.

Dělení vzorku probíhá stejně jako u všech ostatních metod, nejlépe kvartací. Jelikož je pro zvolenou metodu potřeba opravdu malé množství, je nutné pro získání reprezentativního vzorku zeminu pečlivě promíchat. Heterogenní materiály mají tendenci se třídit při manipulaci podle velikosti, je nezbytné tomuto jevu zabránit, jelikož ovlivňuje reprezentativnost dílčího vzorku.

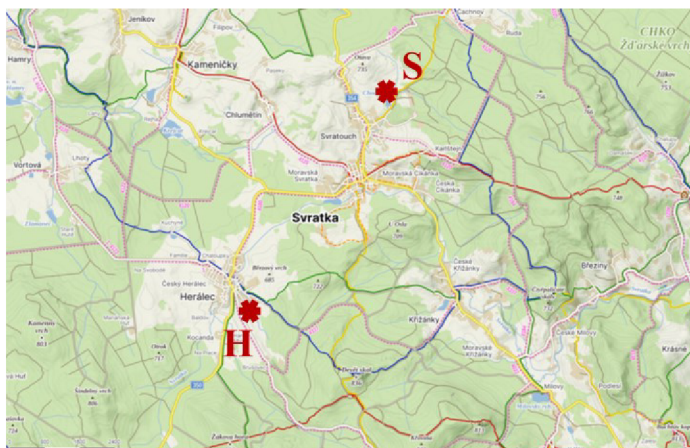
Způsob zavádění vzorku do měřicího systému musí být proveden tak, aby bylo při manipulaci zabráněno ztrátě nejmenších částic nebo jejich ulpívání na povrchu média. Doporučuje se vytvořit z dílčího vzorku pastu, vhodná konzistence je dosažena v momentě, kdy je materiál tak homogenní, že není možné rozlišit žádnou z frakcí. Následně takto zpracovaný vzorek je testován v difraktometru [1].

9 LOKACE A ZPŮSOB ODBĚRU VZORKŮ

Vzorky zeminy byly odebrány v blízkosti rybníků v obci Svatouch v okrese Chrudim, v Pardubickém kraji a v obci Herálec v okrese Žďár nad Sázavou, v kraji Vysočina, lokality jsou vyznačeny v Obr. 13 Lokality odběrů vzorků Obr. 13.

První sada vzorků je označena písmenem S a byla odebrána v terénu svažujícím se k nedalekému rybníku Chochol dle Obr. 14. Odběr byl uskutečněn ve dvou vrstvách, přičemž byla odkryta orniční vrstva, jež dosahovala malé proměnlivé tloušťky. První orniční vrstva je značena písmenem A, druhá pod orniční vrstva písmenem B.

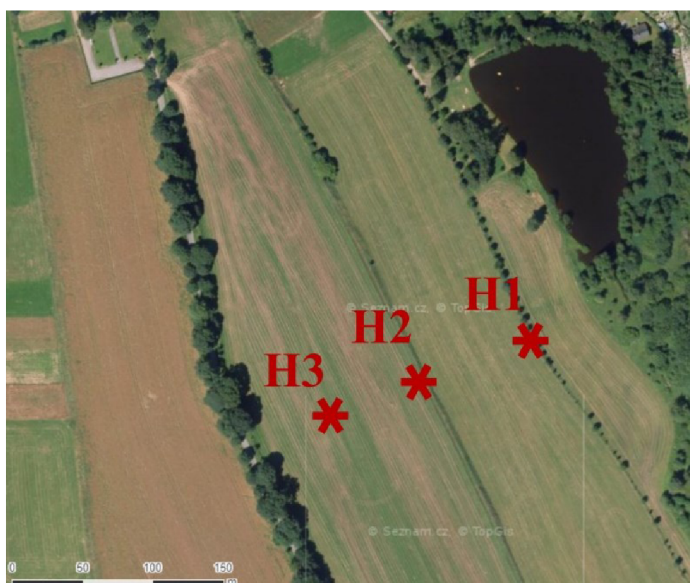
Druhá sada vzorků je označena písmenem H a byla odebrána ve svažující se oblasti k nedalekému Bahnitému rybníku viz. Obr. 15. Odběr byl taktéž uskutečněn ve dvou vrstvách s principem stejného označení, jako tomu je u první sady.



Obr. 13 Lokality odběru vzorků [40]



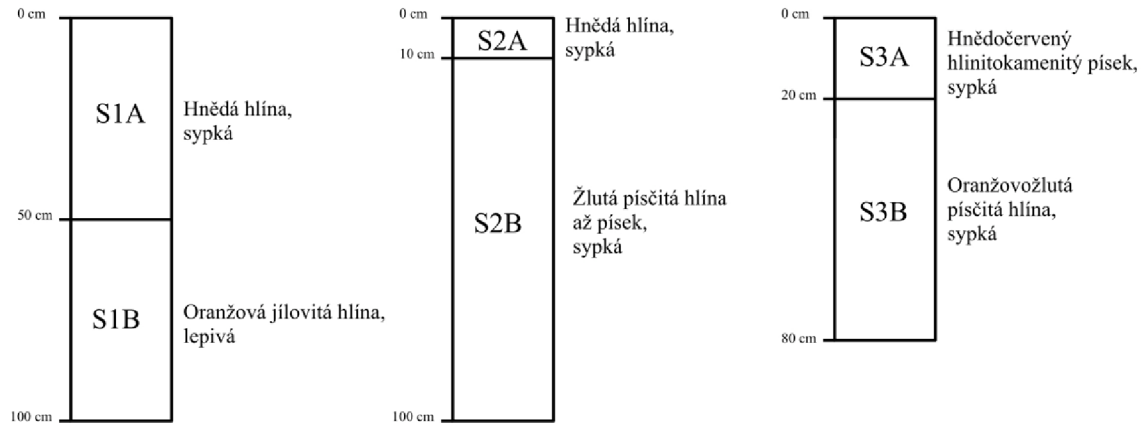
Obr. 14 Místa odběru vzorků S [41]



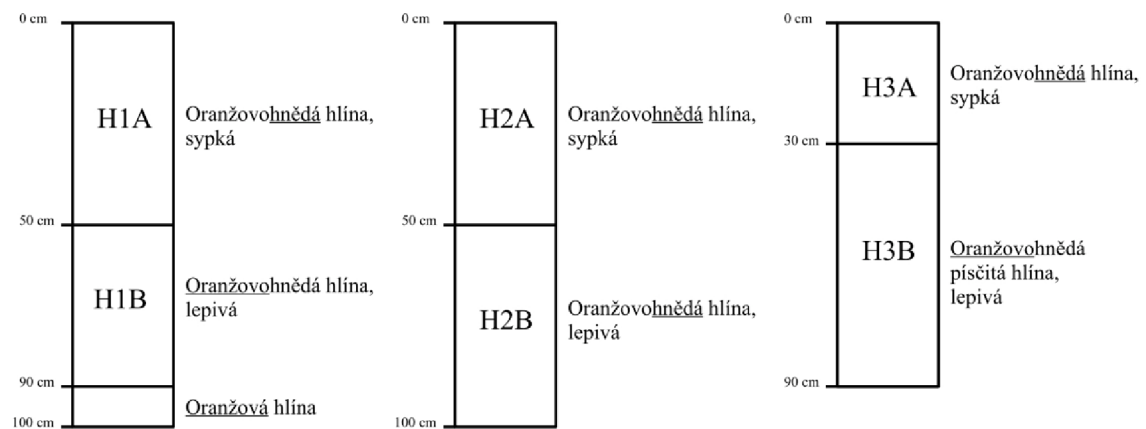
Obr. 15 Místa odběru vzorků H [42]

9.1 ODBĚR VZORKU

Odběr porušených vzorků pro stanovení zrnitosti a vymezení hranic mezi jednotlivými vrstvami a informací o jejich mocnosti proběhl ručně pomocí sondýrky. Záměrem bylo vybrat takové lokace, ze kterých by bylo možné získat data o frakci jemnozemeč, jež může mít vliv na zanášení sledovaných rybníků. Současně byla stanovena mocnost omiční vrstvy, která nedosahovala příliš velkých mocností a v odběrných bodech blíže k rybníku byla tato mocnost větší, což potvrzuje erozi půdy ve vybraných lokalitách. Získané informace o geologických profilech jednotlivých sond jsou na Obr. 16 a Obr. 17.



Obr. 16 Geologický profil sond první sady vzorků S



Obr. 17 Geologický profil sond druhé sady vzorků H

9.1.1 KLIMATICKÉ POMĚRY

Lokace odběru první sady S vzorků byla přibližně 675 m n. m., přičemž hladina rybníka se rozkládá v nadmořské výšce 661 m n. m.

V druhém případě byl odběr H vzorků uskutečněn v 657 m n. m. a hladina rybníka dosahuje nadmořské výšky 646 m n. m.

Dlouhodobý roční srážkový úhrn se v této oblasti pohybuje mezi 800 až 900 mm/rok a průměrná roční teplota vzduchu se během posledních deseti let pohybovala mezi 4 až 5 °C [43].

Podnebí je typické pro vyšší podhorské oblasti. Jedná se o vlhké kontinentální podnebí [44].

9.1.2 GEOLOGICKÉ POMĚRY

Vzorky byly odebrány v Regionu Kutnohorské krystalinikum, svratecké krystalinikum, v kutnohorsko-svratecké oblasti, spadajících do Českého masívu.

V obou případech se jedná v místních poměrech o horninový typ metamorfit, v první lokaci se zastoupenou horninou dvojslídny migmatit až ortorula a v druhé lokaci se zastoupením dvojslídneho svoru [45].

9.1.3 PŮDNÍ POMĚRY

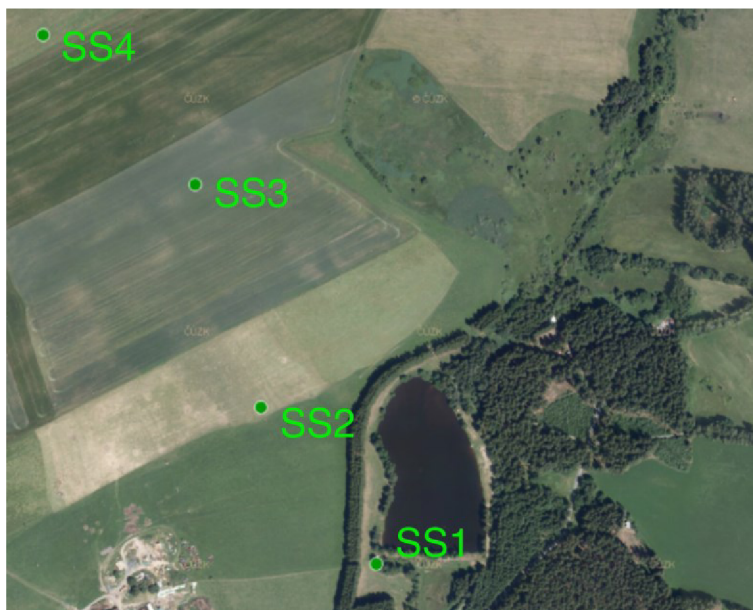
V blízkosti rybníka Chochol, kde byla odebrána první sada vzorků jsou poměry popsány jako půdní typ glej modální a kambizem dystrická. Přičemž vzorky byly odebrány v oblasti gleje modálního.

Bahnitý rybník se nachází v oblasti charakterizované několika dominantními půdními typy, a to glejem modálním, stagnoglejem modálním a stagnoglejem histickým. Přičemž vzorky byly odebrány v oblasti těsně nezasahující do tělesa rybníka charakterizované jako kambizem mesobazická [46].

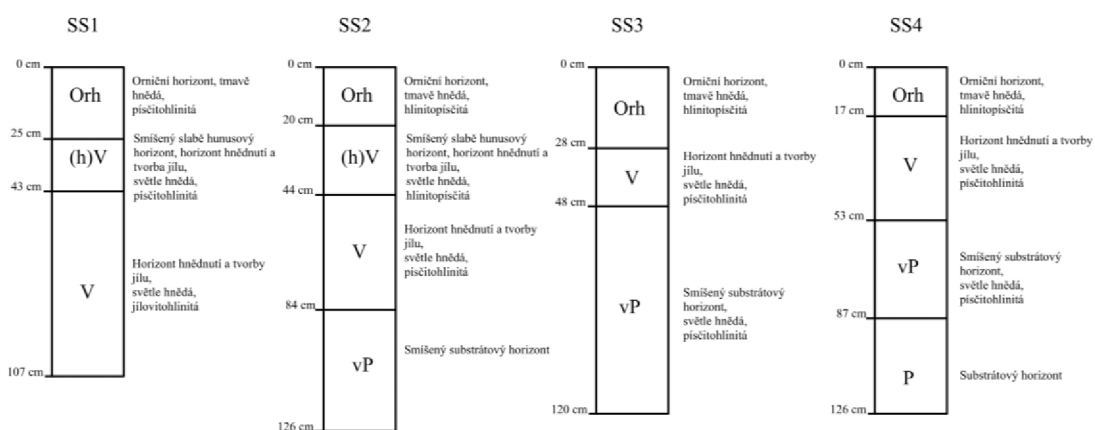
Kód BJEJ v oblasti rybníka Chochol a místa odběru vzorku S1 je 9.50.01, v místě odběru vzorků S2 a S3 se jedná o kód 9.50.11. Hlavní půdní jednotka je v celé zkoumané oblasti značena kódem 50. Sklonitost půdy je v místě odběru S1 0, tedy úplná rovina. V oblasti odběru S2 a S3 je sklonitost 1, čili mírný sklon. V celé zkoumané oblasti je skeletovitost hodnocena jako 1, čili celkový obsah skeletu nepřesáhne 25 %. Hloubka půdy je hodnocena jako středně hluboká až hluboká od 30 cm.

V oblasti Bahnitého rybníka jsou první dva vzorky označené H1 a H2 odebrány v oblasti bonitované půdní jednotky označené kódem 9.36.21 a třetí vzorek H3 v oblasti jednotky 9.36.01. Hlavní půdní jednotka je v celé zkoumané oblasti značena kódem 36. V oblasti odběru H1 a H2 je sklonitost 2, mírný sklon. V oblasti odběru H3 je sklonitost hodnocena 0 jako úplná rovina. Skeletovitost je taktéž v celé oblasti značena kódem 1, jež náleží půdě s celkovým obsahem skeletu do 25 %. Hloubka půdy je středně hluboká až hluboká od 30 cm.

V rámci komplexního průzkumu půd bylo v roce 1965 provedeno několik sond v oblasti rybníka Chochol. Nejbližší sondy nacházející se v oblasti nad rybníkem jsou zakresleny v Obr. 18 jako SS1, SS2, SS3 a SS4. Geologický profil těchto son lze vidět na Obr. 19 [47].



Obr. 18 Sondy z KPP v oblasti rybníka Chochol [48]



Obr. 19 Geologické profily sond z KPP v oblasti rybníka Chochol [48]

V Tab. 13 Obsah částic menších než 0,01 mm v orniční vrstvě sond SS z KPPTab. 13 lze vidět u jednotlivých sond obsah částic menších než 0,01 mm v orniční vrstvě. To poskytuje informaci o procentuálním zastoupení těchto částic v minulosti, rozbor byl proveden v roce 1965.

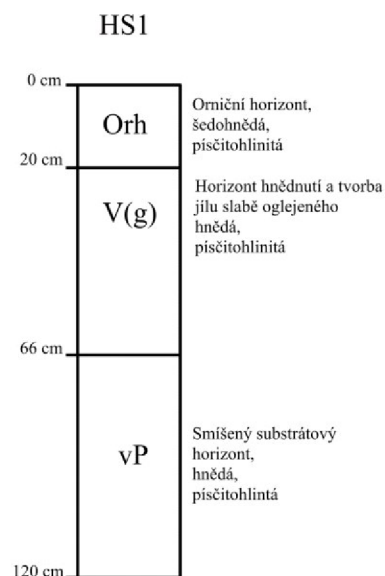
Tab. 13 Obsah částic menších než 0,01 mm v orniční vrstvě sond SS z KPP [48]

Sonda	Hloubka odběru [cm]	Obsah částic < 0,01 mm [%]
SS1	0 – 26	27,3
SS2	0 - 20	15,8
SS3	0 - 29	14,2
SS4	0 - 18	19,1

Jedna sonda byla v rámci KPP v roce 1967 vyhotovena i v oblasti nad Bahnitým rybníkem. Je označena HS1. Její lokace je zakreslena na Obr. 20 a geologický profil lze vidět na Obr. 21.



Obr. 20 Sonda z KPP v oblasti Bahnitého rybníka [49]



Obr. 21 Geologický profil sondy z KPP v oblasti Bahnitého rybníka [49]

V Tab. 14 lze vidět obsah částic o velikosti menší než 0,01 mm v orniční vrstvě. Tento rozbor byl platný k roku 1967.

Tab. 14 Obsah částic menších než 0,01 mm v orniční vrstvě sondy HS1 z KPP [49]

Sonda	Hloubka odběru [cm]	Obsah částic < 0,01 mm [%]
HS1	0 – 18	25,10

10 JEDNOTNÁ ÚPRAVA VZORKŮ

Každý z dvanácti vysušených vzorků byl rozmělněn v třecí misce za účelem rozpojení agregátů viz. Obr. 22, přičemž byl kladen důraz na opatrné zacházení, aby nedocházelo k rozbíjení samotných zrn zeminy.

Množství zeminy bylo případně děleno kvartací pro zachování maximální reprezentativnosti. Následně bylo použito ocelové síto z certifikované sady sít o průměru oka 2 mm. Jednotlivé vzorky tak byly pomocí mechanické prosévačky rozděleny na nadsítnou část a část podsítnou, u které bylo nutné získat adekvátní množství, aby celková hmotnost byla dostatečná pro stanovení měrné hmotnosti a vykonání všech čtyř zvolených zrnitostních zkoušek. Všechny zkoušky proběhly na částech vzorků zeminy o maximálním průměru zrna 2 mm, celá práce je tedy zaměřena pouze na frakci jemnozeme.



Obr. 22 Rozmělnění agregátů v třecí misce

11 MĚRNÁ HMOTNOST

11.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Separovaná část zeminy propadlá přes síto o průměru oka 2 mm byla podrobena zkoušce pro stanovení měrné hmotnosti ρ_s za účelem získání informací pro správné nastavení odběrných charakteristik měření u pipetovací metody a pro zjištění hodnot do výpočtu hustoměrné metody.

11.2 PRŮBĚH ZKOUŠKY

Počet pyknometrů o známém objemu byl opatřen značkou, aby nedošlo ke vzájemné záměně. Poté byl každý z pyknometrů naplněn až po okraj destilovanou vodou, o teplotě 20 °C a následně uzavřen příslušnou zátkou. Takto připravený pyknometr byl z vnější strany osušen a zvážen pro zjištění hmotnosti m_1 .

V dalším kroku bylo z každého vzorku odváženo do příslušného vyprázdněného pyknometru přesně 10 g vysušené zeminy, tato hmotnost zeminy vstupuje do výpočtu jako m_s .

Každý z pyknometrů byl doplněn zhruba 20 ml destilované vody. Poté byly všechny přemístěny na plotýnky a přivedeny k varu. Za stálého hlídání, dolévání odpařené destilované vody, ochlazování, míchání a případného chvilkového odstavení, kvůli kypění a vzniku pěny, byl obsah pro odstranění veškerého vzduchu z pórů vařen po dobu 30 min. Bylo nutné zamezit úniku vzorku, jelikož varem vzniklá pěna unáší i částice vzorku a mohl by tak případný únik obsahu ovlivnit výsledky zkoušky.

Po uplynulé době varu byly pyknometry s obsahem odstaveny z plotýnky, částečně dolity destilovanou vodou, a ponechány ve vodní lázni pro urychlení procesu chlazení.

V momentě, kdy se obsah pyknometrů ustálil na teplotě 20 °C, byla dolita destilovaná voda až po okraj a každá z nádob byla uzavřena příslušným uzávěrem. Pyknometry byly opět z vnější strany osušeny a zváženy pro získání hodnoty m_2 .

11.3 VYHODNOCENÍ

Po dosazení do vzorce č. (3.5) byly vypočteny hodnoty měrné hmotnosti jednotlivých vzorků, které jsou zaznamenány v Tab. 15. Pro vhodné nastavení odběrných charakteristik pipetovací metody byl použit průměr hodnot měrné hmotnosti $2,62 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a pro výpočet v rámci hustoměrné metody byly použity neprůměrované hodnoty jednotlivých měrných hmotností.

Tab. 15 Výpočet měrné hmotnosti vzorků zeminy

Vzorek	m_s [g]	m_1 [g]	m_2 [g]	ρ_s [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
S1A	10	136,78	142,8	2,504
S1B	10	135,7	141,99	2,687
S2A	10	135,29	141,41	2,569
S2B	10	134,52	140,82	2,694
S3A	10	136,61	142,76	2,589
S3B	10	151,32	157,55	2,644
H1A	10	149,22	155,34	2,569
H1B	10	136,53	142,79	2,665
H2A	10	135,18	141,27	2,549
H2B	10	144,93	151,24	2,701
H3A	10	148,66	154,82	2,596
H3B	10	149,28	155,61	2,716

12 SÍTOVÝ ROZBOR

12.1 PŘÍPRAVA VZORKU

Část každého z dvanácti vzorků suché jemnozeme byla přesunuta do třecí misky a došlo k opatrnému rozdělování zbylých agregátů. Poté bylo do misky odděleno množství o hmotnosti 100 g s přesností na dvě desetinná místa.

12.2 PRŮBĚH ZKOUŠKY

Certifikovaná sada sít byla seřazena shora sestupně (1,0, 0,5, 0,25, 0,125, 0,063 mm) a pod nejmenší síto byla vložena nádoba pro zachycení částic propadlých i skrz síto s nejmenším průměrem oka. Tato sada sít i s nádobou pod nimi byla umístěna do mechanické prosévačky. Každý z připravených vzorků byl přemístěn na horní síto s největším průměrem oka, přikryt poklopem a podroben analýze viz. Obr. 23. Prosévání probíhalo 5 min při amplitudě A 2,5 mm. Po ukončení prosévání bylo každé ze sít i s nádobou na nejmenší propadlé částice pečlivě vyprázdněno s důrazem na minimalizování ztrát, separované frakce lze vidět na Obr. 24 a Obr. 25. Následně byla každá z částí zvážena s přesností na dvě desetinná místa. Jelikož se u žádného z dvanácti vzorků nelišila počáteční hmotnost suché zeminy se sumou jednotlivých propadových hmotností po zkoušce o více jak 1 %, nebylo nutné prosévání opakovat.



Obr. 23 Mechanická prosévačka s připraveným vzorkem



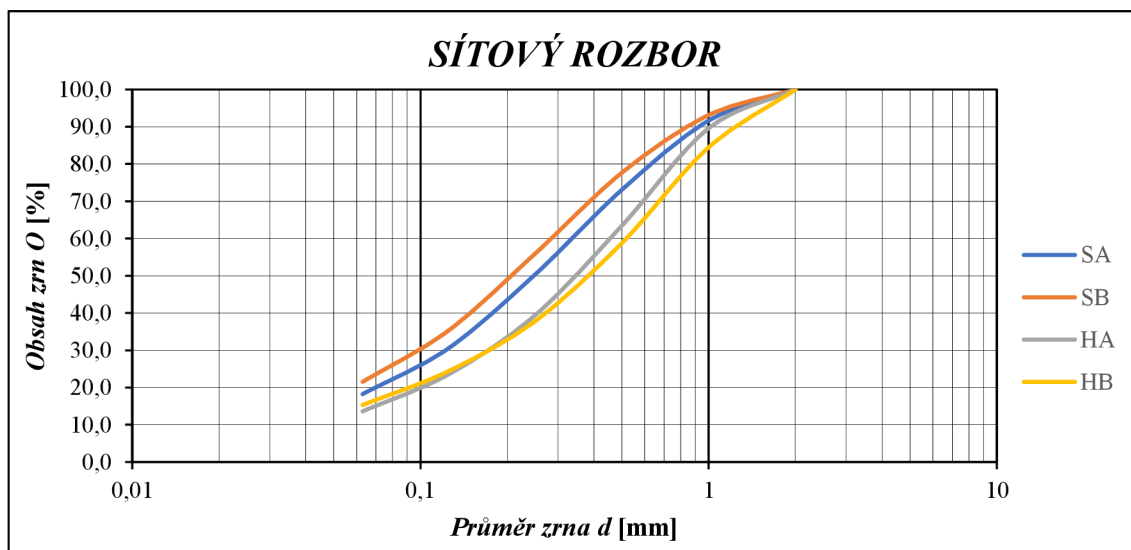
Obr. 24 Vzorek zeminy separován síty o velikosti oka 1, 0,5 a 0,25 mm



Obr. 25 Vzorek zeminy separován síty o velikosti oka 0,125, 0,063 a podsítný zbytek

12.3 VYHODNOCENÍ

Hmotnosti propadů jednotlivými síty byly zaznamenány do tabulek v programu Microsoft Excel, kde byly následně přepočteny na procentuální zastoupení ve vzorku viz. Tab. 16. Pro lepší orientaci ve výsledcích byly vypočteny aritmetické průměry pro hodnoty zrnitostních rozborů jednotlivých vrstev, které jsou označeny v Obr. 26 jako SA, SB, HA a HB.



Obr. 26 Grafické vyjádření zrnitosti pro jednotlivé vrstvy pomocí sítového rozboru

Tab. 16 Vyhodnocení vzorků pomocí zrnitostního rozboru

Obsah zrn [%]								
Průměr oka síta [mm]	S1A	S1B	S2A	S2B	S3A	S3B	SA	SB
2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1	91,01	93,02	90,26	94,57	93,65	91,79	91,64	93,12
0,5	72,04	76,31	68,35	77,44	78,87	79,24	73,09	77,67
0,25	53,02	59,08	42,13	51,64	55,88	57,12	50,34	55,95
0,125	37,76	47,13	21,49	26,91	32,29	31,80	30,51	35,28
0,063	26,07	35,78	10,43	12,34	18,19	16,43	18,23	21,52
Obsah zrn [%]								
Průměr oka síta [mm]	H1A	H1B	H2A	H2B	H3A	H3B	HA	HB
2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1	86,98	84,31	90,43	87,17	91,35	81,93	89,59	84,47
0,5	57,93	58,01	65,06	60,86	67,38	57,46	63,46	58,78
0,25	36,41	38,24	39,50	39,79	42,33	35,44	39,41	37,82
0,125	23,81	26,25	22,16	26,76	24,56	20,15	23,51	24,39
0,063	15,20	17,26	11,98	18,20	13,65	10,48	13,61	15,31

12.4 DISKUZE

Jedná se o poměrně jednoduchou a časově méně náročnou analýzu, kdy není mimo vysoušení zeminy potřeba zdlouhavé přípravy vzorku. Negativa lze nalézt především v její přesnosti. Významnou roli hraje typ zeminy, velikost částic a procentuální hmotnostní rozdělení. Křivky zrnitosti nejsou v rámci této metody v oblasti nejmenších částic definovány, jelikož jsou nejmenší částice pomocí sít neroztříditelné. První bod zrnitostní křivky můžeme chápat jako hmotnost veškerého propadu přes síto o nejmenším průměru oka. A tento separační rozměr nemusí být při hodnocení v případě zemin s velkým podílem jemných částic dostačující. Výstupem síťového rozboru je vyjádření hmotnostního podílu pro dané průměry částic.

13 HUSTOMĚRNÁ METODA

13.1 PŘÍPRAVA VZORKU

Ze separovaných částí vzorků o průměru částic 2 mm a menších bylo odváženo po 80 g. Každé z tohoto množství bylo ošetřeno 80 g roztoku hexametafosforečnanu sodného (NaPO_3)₆ a destilované vody, připraveného v poměru 3,52 g na 100 ml. Následně pro úplné rozpojení agregátů byl celý objem přemístěn do skleněných lahví označených příslušnou značkou a každá z lahví byla doplněna o množství destilované vody a sadu kuliček potažených pryží. Takto připravené a uzavřené lahve byly přemístěny do třepačky na dobu 24 hodin, viz Obr. 27.

Mezi tím byly připraveny odměrné válce s ryskou pro určení objemu 1 l. Každý z válců byl opatřen značkou jednoho ze vzorků zeminy. Byl vypočítán obsah průřezu válců principem zjištění rozdílů hladin po dolití známého objemu vody. Každá z hladin byla označena a rozdíl mezi značkami byl změřen. Z dané hodnoty a známého objemu byla vypočítána průřezová plocha.

Hustoměry byly taktéž opatřeny značkami a byly zaznamenány kombinace odměrných válců a hustoměrů, přesně tak, jak budou při samotné zkoušce použity. Také byla u každého z hustoměrů změřena délka stupnice L mezi hodnotou 1,000 a posledním dílkem 1,030. Byl zaznamenán počet dílků S . Následně byla změřena výška hrušek hustoměrů h . A jako poslední byl určen objem hrušek V , jež byl zaznamenán při ponoření do vody ve válci známé průřezové plochy, objem byl zjištěn z rozdílu hladin.

Dalším krokem bylo určení opravných koeficientů. Hodnoty meniskové korekce c_1 při ustálení hustoměru v destilované vodě, kdy byl odečten rozdíl mezi skutečnou hladinou a horní úrovní menisku. Dále hodnoty c_2 , jež eliminují chybu v případě posunuté stupnice hustoměrů. Tyto hodnoty byly určovány odečtením z hustoměru ponořeného do destilované vody o teplotě 20 °C a známé hustotě. Poslední z opravných koeficientů A byl určen jako rozdíl hustot destilované vody při teplotě 20 °C a roztoku destilované vody s dispergačním činidlem o stejné koncentraci, jako byla použita v případě zkušebních suspenzí. Informace ohledně kombinací použitých odměrných válců a hustoměru, společně s potřebnými parametry a opravnými koeficienty lze vidět v Tab. 17.

Tab. 17 Kombinace odměrných válců a hustoměru, jejich parametrů a hodnoty opravných koeficientů

Vzorek	S1A	S1B	S2A	S2B	S3A	S3B
Odměrný válec č.	1	2	3	4	5	6
Průřezová plocha S_1 [cm ²]	29,061	27,857	28,551	28,426	28,761	28,889
Vzorek	H1A	H1B	H2A	H2B	H3A	H3B
Odměrný válec č.	7	8	9	10	11	12
Průřezová plocha S_1 [cm ²]	28,975	28,975	28,302	28,551	28,676	28,676
Hustoměr č.	1	2	3	4	5	6
L [cm]	11,6	12	11,8	12,18	11,9	11,3
S [-]	30	30	30	30	30	30
V [cm ³]	68,750	73,438	71,875	71,875	71,875	70,313
h [cm]	17,7	17,8	17,8	18,2	17,8	16,95
c ₁	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
c ₂	0	0,3	0	0	0,3	0
A	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5



Obr. 27 Vzorky zeminy ošetřené dispergačním činidlem a uložené do třepačky

13.2 PRŮBĚH ZKOUŠKY

Veškerá suspenze byla ze skleněných lahví přemístěna do příslušných odměrných válců a dolita destilovanou vodou po rysku. Válce s obsahem byly následně přemístěny do vodní lázně, aby bylo docíleno konstantních vnějších podmínek v průběhu celého měření. Každý z válců byl minutu míchán, tak aby veškerá zrna byla ve vznosu. Ihned po ukončení míchání byly spuštěny stopky a do suspenze umístěn příslušný hustoměr. Průběh měření první šestice vzorků lze vidět na Obr. 28. Čtení byla zaznamenána dle Tab. 18 a v případě prvních čtyř odečtů byl hustoměr mezi měřeními v suspenzi ponechán, následně byl vyjmut a opláchnut. Při každém dalším odečtu byl hustoměr umístěn do suspenze 1 minutu před každým měřením a poté opět vyjmut a opláchnut. V průběhu měření byla během každého odečtu sledována a zapisována teplota, jelikož do rovnice při vyhodnocení vstupuje opravný koeficient m , jež eliminuje chybovost na základě nekonstantní teploty. Rovněž také umožňuje vykonávat zkoušku při teplotě jiné, než 20 °C.

Tab. 18 Data získaná v průběhu hustoměrné metody

Čtení č.	S1A	S1B	S2A	S2B	S3A	S3B	H1A	H1B	H2A	H2B	H3A	H3B
1	30	32	22	14	27	17,5	30	27	28	27,5	21,5	13,5
2	28	30	19	11	23	15	26	25,5	26,5	26	20,5	13
3	27	26,5	17	9	22	13	24	23,5	24,5	25	19,5	12,5
4	22	21	14,5	7,5	18	12	21,5	21	22	22,5	17,5	10,5
5	17	16	12	5,5	14,5	9,5	17	17,5	18,5	18,5	14,5	8,5
6	11,5	12	9,5	4	12	7,5	13	13,5	15,5	14,5	12	6,5
7	9	10	8	3,6	10,5	7	10,3	10,5	12,5	12	10	5
8	7,5	7,75	6,5	3	8	5	8,5	9	11	8,75	8,5	4
9	5,5	6	6	2,25	6,75	4,75	6,25	7	8	6	6,5	3,9



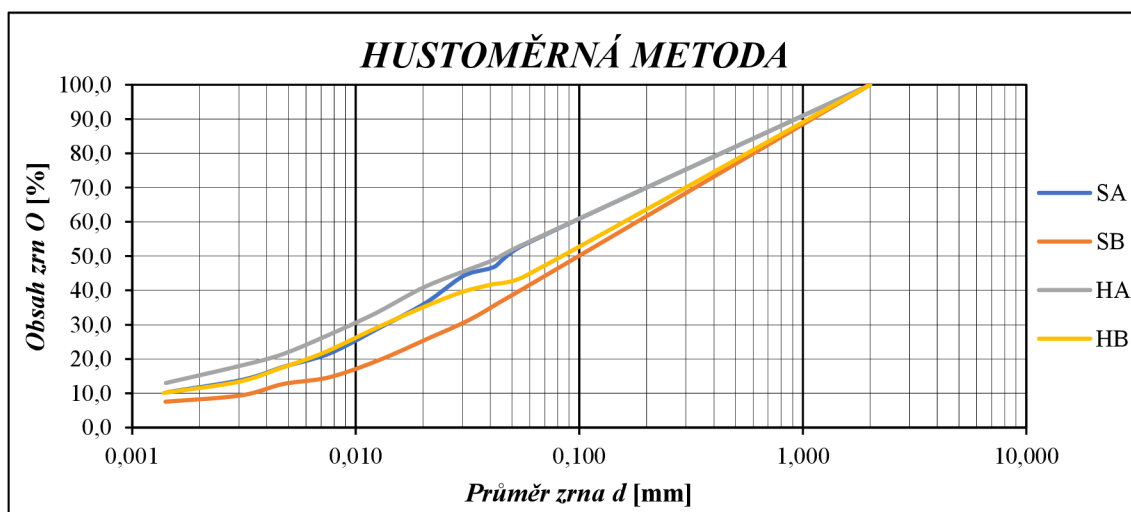
Obr. 28 Průběh hustoměrné zkoušky

13.3 VYHODNOCENÍ

Ze zaznamenaných teplot byl zjištěn koeficient m pro vyhodnocení výsledků metody dle vzorce č. (8.4) a koeficient t pro vyhodnocení dle monogramu viz. Tab. 19. Pro vyhodnocení metody v Tab. 20 a Tab. 21 byly použity matematické vztahy č. (8.3) a (8.5), přičemž byl vzorec pro výpočet poměrného obsahu částic O doplněn o opravné koeficienty c_2 a A , které zpřesňují výpočet o vliv posunuté stupnice hustoměru a opravují hustotu kapaliny, ve které jsou rozptýleny analyzované částice zeminy, o použití dispergačního činidla, které má jinou hustotu, než je hustota vody. Současně pro větší přehlednost křivek zmitosti na Obr. 29 byly vytvořeny aritmetické průměry hodnot jednotlivých vrstev, které jsou označeny SA, SB, HA a HB.

Tab. 19 Čas, teplota a opravné teplotní koeficienty hustoměrné metody

Čtení č.	Čas [min]	Teplota [°C]	m [-]	t [-]
1	0,5	26,9	1,54	1,55
2	1	26,9	1,54	1,55
3	2	26,9	1,54	1,55
4	5	26,9	1,54	1,55
5	15	26,9	1,54	1,55
6	45	26,8	1,51	1,50
7	120	26,7	1,48	1,45
8	300	26,5	1,43	1,40
9	1440	26,5	1,43	1,40



Obr. 29 Grafické vyjádření zmitosti pro jednotlivé vrstvy vyhodnocené početně pomocí hustoměrné metody

Tab. 20 Analytické vyhodnocení sady vzorků s označením S při hustoměrné metodě

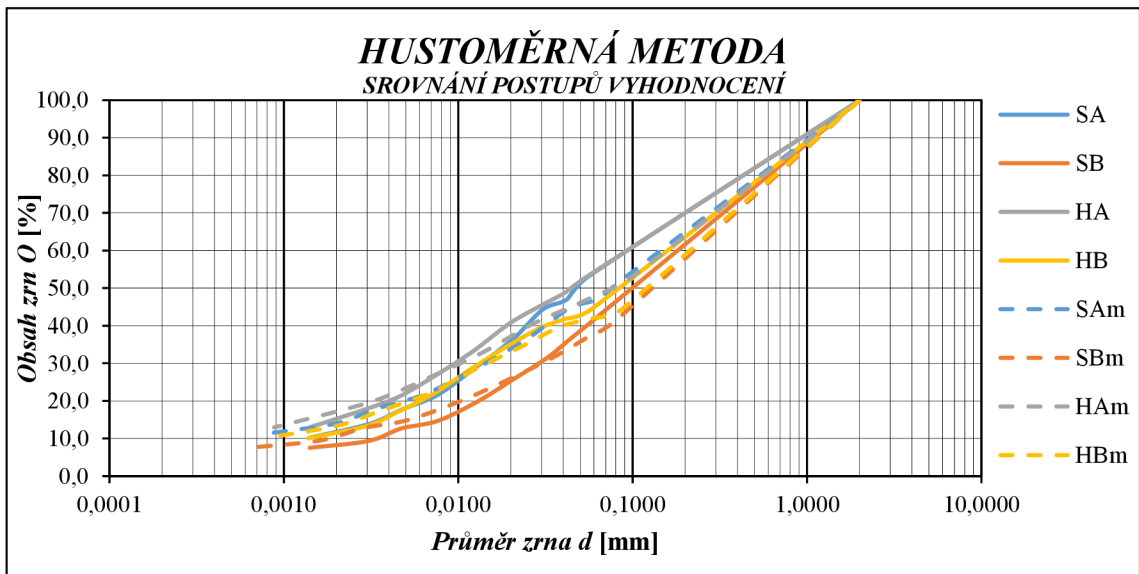
Průměr zrn [mm]								
Čtení č.	S1A	S1B	S2A	S2B	S3A	S3B	SA	SB
0	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
1	0,0525	0,0468	0,0608	0,0674	0,0548	0,0625	0,0561	0,0589
2	0,0389	0,0349	0,0453	0,0496	0,0420	0,0459	0,0421	0,0435
3	0,0281	0,0268	0,0330	0,0360	0,0303	0,0334	0,0305	0,0321
4	0,0196	0,0189	0,0217	0,0232	0,0205	0,0214	0,0206	0,0211
5	0,0123	0,0118	0,0129	0,0137	0,0125	0,0128	0,0126	0,0128
6	0,0077	0,0072	0,0077	0,0080	0,0075	0,0076	0,0076	0,0076
7	0,0049	0,0046	0,0048	0,0050	0,0047	0,0047	0,0048	0,0047
8	0,0031	0,0030	0,0031	0,0032	0,0031	0,0030	0,0031	0,0031
9	0,0015	0,0014	0,0014	0,0015	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
Obsah zrn [%]								
Čtení č.	S1A	S1B	S2A	S2B	S3A	S3B	SA	SB
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1	61,46	62,79	44,08	26,91	54,05	34,25	53,19	41,32
2	57,30	58,81	37,94	20,95	45,90	29,22	47,05	36,33
3	55,22	51,84	33,84	16,97	43,86	25,20	44,31	31,34
4	44,81	40,89	28,73	13,99	35,72	23,19	36,42	26,02
5	34,41	30,93	23,61	10,01	28,59	18,17	28,87	19,70
6	22,91	22,92	18,44	6,98	23,44	14,09	21,60	14,66
7	17,66	18,89	15,32	6,13	20,34	13,04	17,77	12,69
8	14,43	14,30	12,14	4,84	15,14	8,91	13,90	9,35
9	7,28	10,82	11,12	3,35	12,59	8,41	10,33	7,53

Tab. 21 Analytické vyhodnocení sady vzorků s označením H při hustoměrné metodě

Průměr zrn [mm]								
Čtení č.	H1A	H1B	H2A	H2B	H3A	H3B	HA	HB
0	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
1	0,0514	0,0536	0,0542	0,0531	0,0610	0,0649	0,0555	0,0572
2	0,0398	0,0391	0,0396	0,0388	0,0439	0,0462	0,0411	0,0414
3	0,0293	0,0288	0,0292	0,0280	0,0315	0,0329	0,0300	0,0299
4	0,0194	0,0191	0,0194	0,0186	0,0206	0,0213	0,0198	0,0197
5	0,0120	0,0117	0,0119	0,0115	0,0124	0,0126	0,0121	0,0119
6	0,0074	0,0071	0,0072	0,0070	0,0074	0,0075	0,0073	0,0072
7	0,0047	0,0046	0,0046	0,0045	0,0047	0,0047	0,0047	0,0046
8	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030
9	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
Obsah zrn [%]								
Čtení č.	H1A	H1B	H2A	H2B	H3A	H3B	HA	HB
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1	60,45	53,09	56,64	53,66	42,77	25,79	53,29	44,18
2	52,26	50,09	53,55	50,68	40,74	24,80	48,85	41,86
3	48,17	46,09	49,44	48,70	38,71	23,81	45,44	39,53
4	43,05	41,09	44,30	43,74	34,64	19,86	40,66	34,89
5	33,84	34,08	37,10	35,80	28,54	15,90	33,16	28,59
6	25,61	26,03	30,87	27,81	23,40	11,89	26,63	21,91
7	19,92	19,98	24,65	22,79	19,29	8,87	21,29	17,21
8	16,24	16,87	21,46	16,24	16,13	6,79	17,94	13,30
9	11,63	12,87	15,29	10,78	12,07	6,60	13,00	10,08

Současně byla hustoměrná metoda vyhodnocena pomocí monogramu a vzorce č. (8.3), a i přesto že se monogram jeví jako méně přesný, jelikož jeho osy nedovolují příliš přesné odečítání, výsledky jsou s postupem vykonaným početně velice podobné. Velké negativum je ale časová náročnost a nemožnost jednoduché opakovatelné implementace. Právě z tohoto důvodu a důvodu, že je užívání monogramu v dnešní době na ústupu, jsou dále v diplomové práci použity pouze výsledky získané početním postupem pomocí sady vzorců č. (8.3), (8.4) a (8.5) Výsledná data pro porovnání obou výše zmíněných postupů jsou znázorněna graficky na Obr. 29Obr. 30, kde SA, SB, HA a HB vyjadřují požití početního postupu vyhodnocení a SAm, SBm, HAm a HBm vyjadřují užití monogramu.

monogram nedovoluje příliš přesně odečítání z klasifikačních os a proces vyhodnocování je velmi zdlouhavý. Data získaná z vyhodnocení jsou uvedena v Tab. 22 a Tab. 23.



Obr. 30 Srovnání grafických vyjádření zrnitosti pro jednotlivé vrstvy vyhodnocených početně a monogramem pro hustoměrnou metodu

Tab. 22 Vyhodnocení vzorků s označením S pomocí monogramu při hustoměrné metodě

Průměr zrn [mm]								
Čtení č.	S1A	S1B	S2A	S2B	S3A	S3B	SA	SB
	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
1	0,1000	0,1000	0,0870	0,0670	0,0950	0,0750	0,0940	0,0807
2	0,0720	0,0690	0,0575	0,0420	0,0625	0,0495	0,0640	0,0535
3	0,0480	0,0460	0,0370	0,0267	0,0440	0,0323	0,0430	0,0350
4	0,0280	0,0262	0,0223	0,0158	0,0250	0,0197	0,0251	0,0206
5	0,0146	0,0135	0,0119	0,0074	0,0131	0,0099	0,0132	0,0103
6	0,0067	0,0064	0,0060	0,0036	0,0066	0,0052	0,0064	0,0051
7	0,0037	0,0037	0,0032	0,0020	0,0033	0,0030	0,0034	0,0029
8	0,0021	0,0020	0,0019	0,0013	0,0021	0,0016	0,0020	0,0016
9	0,0009	0,0008	0,0008	0,0005	0,0009	0,0007	0,0009	0,0007
Obsah zrn [%]								
Čtení č.	S1A	S1B	S2A	S2B	S3A	S3B	SA	SB
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1	61,49	63,42	44,11	26,94	54,68	34,28	53,43	41,54
2	57,33	59,43	37,97	20,97	46,54	29,25	47,28	36,55
3	55,25	52,46	33,87	17,00	44,50	25,23	44,54	31,56
4	44,84	41,51	28,76	14,01	36,35	23,22	36,65	26,25
5	34,44	31,56	23,64	10,04	29,23	18,19	29,10	19,93
6	22,89	23,49	18,42	6,96	24,03	14,07	21,78	14,84
7	17,58	19,41	15,25	6,06	20,88	12,97	17,90	12,81
8	14,36	14,83	12,08	4,77	15,68	8,85	14,04	9,48
9	10,20	11,35	11,05	3,28	13,14	8,34	11,46	7,66

Tab. 23 Vyhodnocení vzorků s označením H pomocí monogramu při hustoměrné metodě

Průměr zrn [mm]								
Čtení č.	H1A	H1B	H2A	H2B	H3A	H3B	HA	HB
	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
1	0,1100	0,0980	0,0980	0,0940	0,0860	0,0680	0,0980	0,0867
2	0,0670	0,0675	0,0675	0,0640	0,0580	0,0480	0,0642	0,0598
3	0,0470	0,0470	0,0470	0,0355	0,0400	0,0330	0,0447	0,0385
4	0,0272	0,0277	0,0278	0,0269	0,0245	0,0192	0,0265	0,0246
5	0,0143	0,0149	0,0144	0,0144	0,0130	0,0098	0,0139	0,0130
6	0,0069	0,0076	0,0076	0,0080	0,0065	0,0050	0,0070	0,0069
7	0,0038	0,0042	0,0042	0,0039	0,0036	0,0026	0,0038	0,0036
8	0,0022	0,0025	0,0025	0,0021	0,0021	0,0015	0,0023	0,0020
9	0,0008	0,0010	0,0010	0,0008	0,0009	0,0007	0,0009	0,0008
Obsah zrn [%]								
Čtení č.	H1A	H1B	H2A	H2B	H3A	H3B	HA	HB
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1	60,48	53,72	54,68	53,69	43,41	25,82	52,86	44,41
2	52,29	50,72	51,70	50,71	41,38	24,83	48,46	42,09
3	48,20	46,72	47,73	48,73	39,34	23,84	45,09	39,76
4	43,08	41,71	42,77	43,76	35,28	19,88	40,38	35,12
5	33,87	34,71	35,82	35,82	29,18	15,93	32,96	28,82
6	25,58	26,61	29,77	27,79	23,99	11,87	26,45	22,09
7	19,85	20,51	23,72	22,73	19,82	8,80	21,13	17,35
8	16,17	17,41	20,64	16,18	16,67	6,73	17,83	13,44
9	11,56	13,40	14,69	10,72	12,61	6,53	12,95	10,22

13.4 DISKUSE

Hustoměrná metoda je jednou z nejpoužívanějších metod při určování zrnitosti zemin, i přesto že je velice zdlouhavá, jak v oblasti přípravy, průběhu tak i v případě vyhodnocení. Požívá se v kombinaci s proséváním. Jedná se o metodu nepřímého měření a velikost částic se vyhodnocuje ze sedimentační rychlosti, která je velmi ovlivněna okolními podmínkami. Tato metoda je nejvíce problematickou z hlediska časové náročnosti zejména při analýze velkého počtu vzorků. Metoda je založena na principu Stokesova zákona, takže jsou zrna zeminy uvažována jako dokonale kulovité částice, jež se ale v přírodě prakticky nevyskytují, tento fakt vede k chybovosti. Problém se může projevit zejména v případě jílových částic, jejichž obsah může být nadhodnocován. Dalším problémem může být v odlišnosti čtení uživatelem na hustoměru, kde toto čtení je až individuální a může způsobit odlišnost ve výsledcích. Pečlivost a rychlost během čtení na hustoměru při měření více vzorků najednou může vnášet další nepřesnosti do výsledků. Výstupem hustoměrné metody je taktéž vyjádření hmotnostního podílu zrn pro daný průměr částic.

14 PIPETOVACÍ METODA

14.1 PŘÍPRAVA VZORKU

Z množství propadlé zeminy sítem o průměru oka 2 mm bylo z každého vzorku odebráno 10 g zeminy s přesností na dvě desetinná místa a umístěno do kádínek s rovným dnem. Tato zemina byla ošetřena dispergačním činidlem. Hexametrafosforečnan sodný NaPO_3 byl rozpuštěn v poměru 35,7 g na 1 litr destilované vody a uhličitan sodný Na_2CO_3 v poměru 7,94 g na 1 litr destilované vody. Tyto roztoky byly postupně přidány při důkladném míchání do kádínek v poměru 10 g zeminy, 10 ml roztoku hexametrafosforečnanu sodného a 10 ml roztoku uhličitanu sodného. Stěny kádinky byly omyty 10 ml destilované vody. Takto připravené homogenizované suspenze byly v kádinkách přikryty hodinovými sklíčky a ponechány 24 hodin viz. Obr. 31. Následně došlo k umístění kádínek na plotnu a přivedení k varu. Za nepřetržitého míchání skleněnou tyčinkou a dolévání destilované vody byly vzorky vařeny po dobu 30 minut. Po vychladnutí byl veškerý obsah i materiál ulpělý na skleněných tyčinkách a kádinkách přemístěn do kalibrovaných odměrných válců. Jako lze vidět na Obr. 32, takto připravené válce byly přemístěny na odběrné místo a doplněny do objemu 1 l, tedy přesně po rysku.



Obr. 31 Vzorky ošetřené dispergačními činidly



Obr. 32 Odměrné válce se suspenzí připravené k analýze



Obr. 33 Průběh měření při hustoměrné metodě

14.2 PRŮBĚH ZKOUŠKY

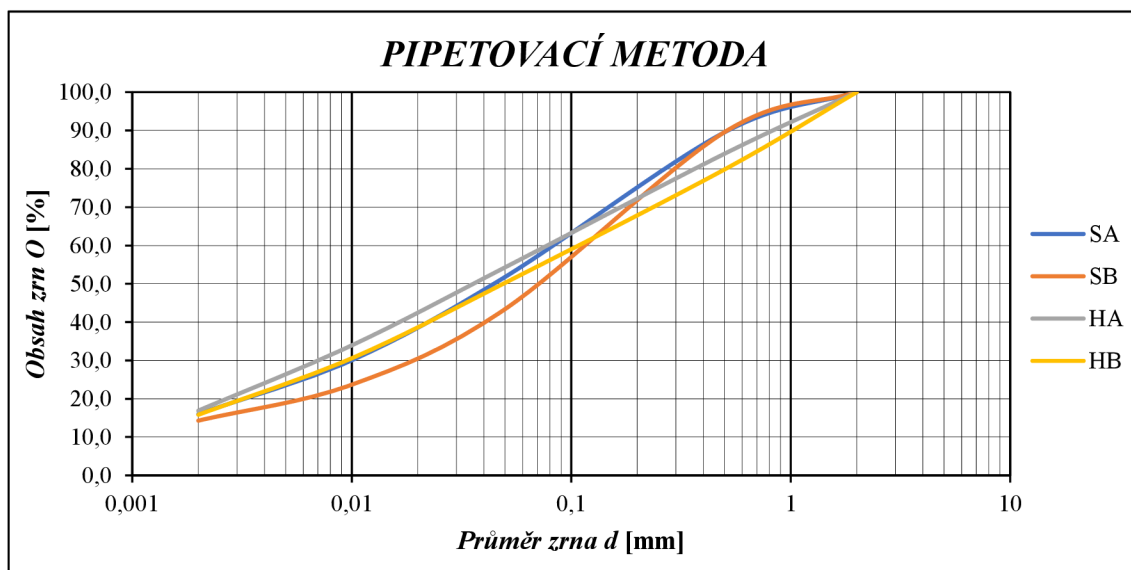
Byla připravena a zvážena skleněná nádobka o objemu větším, jako byl pipetovaný objem, a to pro každý z odběrů. Takto nachystané nádobky byly označeny a zváženy s přesností na čtyři desetinná místa. Na speciální pipetě, která má pevné dno a čtyři dírky pro nasávání a vypouštění po stranách, byly vyznačeny tři předem spočtené hloubky ponoru a ryska pro odebíraný objem 26 ml. Označená pipeta byla upevněna do mechanismu, který se pohybuje nad srovnanými kalibrovanými válci po kolejničích a umožňuje i spouštění pipety do požadovaných hloubek každého z válců. Na pipetu byl nasazen automatický pipetor a byl upraven výkon sání, tak aby čas sání 26 ml odpovídal 20 sekundám. Odběry začaly probíhat po důkladném promíchání po dobu 1 minuty pomocí tyčinky s gumou. Po této době byla všechna zrna ve vznosu, suspenze homogenní a začal se měřit čas. Pipeta se okamžitě umístila nad daný válec a začalo samotné měření viz. Obr. 33. Jak lze vidět v Tab. 24, byly stanoveny tři hloubky odběru, tak aby se časy pro dané průměry částic navzájem nepřekrývaly a časová rezerva mezi jednotlivými intervaly byla dostatečná pro realizaci pipetování jednotlivých vzorků. Odběr v každém čase probíhal 20 s, začal 10 s před časem odběru pro danou částici a skončil 10 s po tomto čase. Každé pipetované množství bylo přemístěno do náležitě označené skleněné nádobky. Současně s takto pipetovanými vzorky bylo dvakrát odebráno i stejné množství referenčního z roztoku destilované vody s dispergačním činidlem pro stanovení hmotnosti jejího odparu, pro případ opravy při vyhodnocení. Všechny tyto malé nádobky byly přemístěny do sušárny, kde byly ponechány při teplotě 106 °C po dobu 24 hodin. Zbylá suspenze z každého válce byla proplachována přes síta s průměrem oka 0,05 a 0,5 mm, seřazených shora sestupně. Byl kladen důraz na minimální ztráty, jak při přemísťování veškerého pevného materiálu z odměrného válce vyplachováním, tak při promývání vzorků síty, kdy bylo nutné veškerá zrna ze sít přemístit pomocí stříčky a stíráním prsty do označených keramických misek, které byly předem zváženy. Po separování frakcí ze všech odměrných válců byly misky přemístěny do sušárny, kde proběhlo sušení po dobu 24 h při 106 °C.

Tab. 24 Vstupní informace pro průběh pipetovací metody

Měrná hmotnost [g·cm ⁻³]	Průměr částic [mm]	Hloubka odběru [cm]	Čas odběru			Doba sání [s]
			[hod]	[min]	[s]	
2,62	0,05	23	0	1	29	20
	0,01	10	0	16	5	20
	0,002	3	2	0	36	20

14.3 VYHODNOCENÍ

Pipetovací metoda byla vyhodnocena na základě hmotnosti částic zachycených při odběrech pro průměry zrn menší jak 0,002, 0,01 a 0,05 mm. Obsah částic o průměru větším jak 0,05 a 0,5 mm byl zachycen na sítích. Hmotnostní podíl byl následně po odečtení průměrné hodnoty odparku referenčního vzorku interpretován do procentuálního zastoupení v Tab. 25 pomocí matematických vztahů č. (8.7), (8.8), (8.9) a (8.10). Pro přehlednost v grafickém zobrazení zrnitosti na Obr. 34 byly použity aritmetické průměry výsledných hodnot pro jednotlivé vrstvy SA, SB, HA a HB.



Obr. 34 Grafické vyjádření zrnitosti pro jednotlivé vrstvy vyhodnocené pomocí pipetovací metody

Tab. 25 Vyhodnocení pipetovací metody

Obsah zrn [%]								
Průměr částice [mm]	S1A	S1B	S2A	S2B	S3A	S3B	SA	SB
2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
0,5	92,216	94,543	85,722	86,162	90,686	88,063	89,541	89,590
0,05	63,900	70,454	41,067	25,408	50,423	34,377	51,796	43,413
0,01	33,375	36,496	25,810	14,170	30,980	20,351	30,055	23,672
0,002	15,887	20,705	14,997	9,697	17,173	12,464	16,019	14,289
Obsah zrn [%]								
Průměr částice [mm]	H1A	H1B	H2A	H2B	H3A	H3B	HA	HB
2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
0,5	85,215	84,008	85,819	84,510	80,792	71,022	83,942	79,847
0,05	57,014	58,455	58,429	59,386	47,446	32,918	54,297	50,253
0,01	33,186	35,299	38,821	36,714	29,802	19,699	33,936	30,571
0,002	14,658	18,102	20,328	17,676	15,717	11,701	16,901	15,826

14.4 DISKUZE

Pipetovací metoda je často používanou zrnitostní analýzou. Její proces přípravy je poněkud zdoluhavějšího charakteru, ale je oproti prosévání zamezeno obsahu agregátů v měřené suspenzi. Pipetovací metoda je sedimentační metodou fungující na principu Stokesova zákona, jedná se o nepřímou metodu měření, jelikož je sledován parametr sedimentační rychlosti a zrna jsou ve výpočtu nahrazována dokonalé kulovitými částicemi. Tento fakt vede k chybovosti, protože zrna se jenom ve velmi málo případech podobají částici tohoto tvaru. Pipetovací metoda musí být často kombinována se síťovým rozbořem, za prvé z důvodu oddělení zrn větších než 2 mm a za druhé z důvodu doplnění dat pro vykreslení křivky zrnitosti. Tento postup je pracný a časově náročný. Výstupem pipetovací metody je taktéž vyjádření hmotnostního podílu zrn pro daný průměr částic.

15 LASEROVÁ DIFRAKCE

Vzorky zemin byly testovány přístrojem ANALYSETTE 22 NeXT společnosti Fritsch viz. Obr. 35., který byl pořízen do pedologické laboratoře Ústavu vodního hospodářství krajiny. Přístroj byl vyroben v roce 2021. Interval, ve kterém je schopen částice analyzovat, je od 0,01 do 3800 μm . Měření probíhá za mokra. Snímací celou prochází zelený laser o vlnové délce λ 520 nm. Čas jednoho měření je 5 až 10 sekund, přičemž celý cyklus trvá 1 minutu. Čerpadlo přístroje disponuje funkcí regulace průtoku, který činí až $3,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Veškeré části oběhového systému jsou vyrobeny z vysoce kvalitní nerezové oceli, hadičky jsou ze silikonu. Systém je navržen na extrémní chemickou odolnost. Dostupné teorie používané k vyhodnocení jsou Fraunhofer a Mie. Pro ještě lepší výsledky je v zařízení aplikován i ultrazvuk, který dokáže rozpojovat agregáty. Jeho výkon je až 50 W a je taktéž nastavitelný [50].



Obr. 35 Laserový difraktometr v pedologické laboratoři ústavu VHK

15.1 PŘÍPRAVA VZORKU

Vzorky byly podrobeny přirozenému schnutí na vzduchu. Následně z nich byla do plastových zkumavek separovaná jemnozem, při reprezentativním zastoupení částic, o hmotnosti 5 g. Množství zeminy bylo ošetřeno roztokem hydroxidu draselného KOH o koncentraci 10 %, reakci po aplikaci roztoku lze vidět na Obr. 36. Takto vytvořená suspenze o objemu 25 ml byla ve zkumavkách uzavřena a vařena ve vodní lázni po dobu 15 minut. Po vychladnutí byly dle Obr. 37 zkumavky vloženy do centrifugy a po dobu 3 minut odstřeďovány při 4000 otáčkách za minutu. Následně mohlo dojít ke slítí roztoku KOH, jelikož částice ulpělé na dně byly separovány od kapaliny. Poté byla do zkumavek dolita destilovaná voda pro vytvoření tekuté pasty pro lepší zacházení a dávkování do dispergační jednotky analyzátoru částic.



Obr. 36 Rozdíl v barvě roztoku mezi vzorkem z orniční a podorniční vrstvy po aplikaci KOH



Obr. 37 Vzorky uložené do centrifugy

15.2 PRŮBĚH ZKOUŠKY

V prvním kroku došlo k manuálnímu vyčištění cely – snímací oblasti a následnému spuštění měřicího cyklu bez přidání zkoušeného materiálu pro dokonalé vypláchnutí nežádoucích částic z celého oběhu. Po vyčištění následovalo změření standardizovaného vzorku F500 dodávaného od společnosti Fritsch k ověření správné funkčnosti přístroje a vyčištění cely.

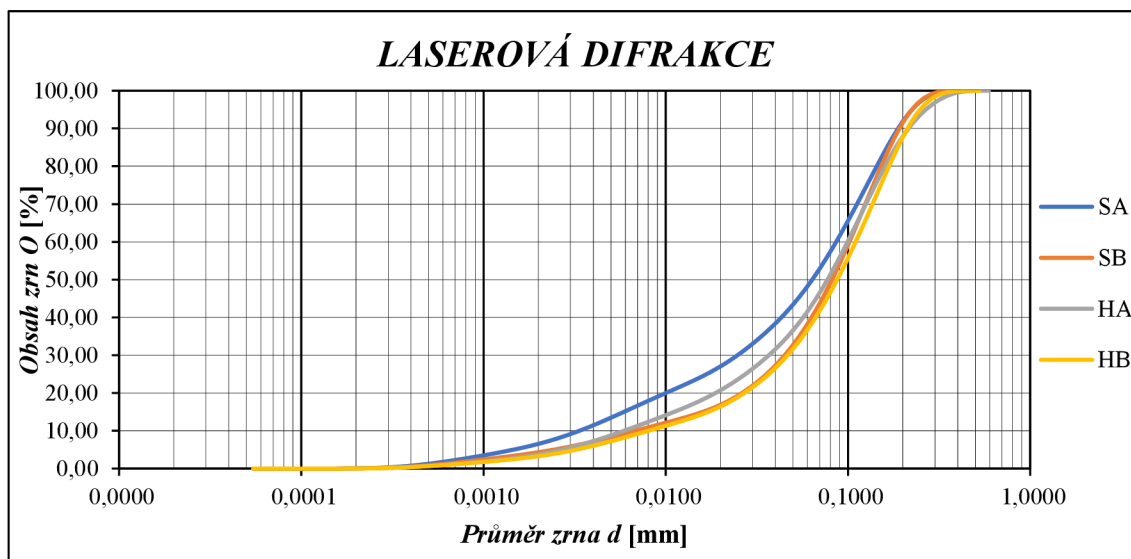
Přístroj je napouštěn pouze destilovanou vodou, která putuje nastavitelnou rychlostí skrz měřicí celu a ultrazvuk. Před samotným nadávkováním vzorku je nejprve laserový paprsek pomocí elektromotorů zastředěn, poté probíhá tzv. pozadí, kdy je měřena pouze destilační voda a jsou detekovány případné nežádoucí částice, které jsou ve výsledku odfiltrovány. Poté byl každý ze vzorků pečlivě protřepán a za stálého třepání bylo plastovou pipetkou odpipetováno malé množství vzorku. Následně byl pomocí pipetky vzorek vpraven do dispergační jednotky za mokra dle požadované obskuracy okolo 15 až 20 %, neboli zastínění. Toto malé množství bylo rozptýleno ve vodě a putovalo nastavenou rychlostí na 70 % přes celu a nastavenou intenzitu ultrazvuku na 70 % pro 5 cyklů měření. Takto byl každý vzorek dle Obr. 38 do přístroje nadávkován a podroben analýze. Výpočet křivek zmitosti byl programem proveden dle teorie Fraunhofera.



Obr. 38 Aplikace vzorku do dispergační jednotky laserového difraktometru

15.3 VYHODNOCENÍ

U každého ze vzorků došlo k vykreslení křivek zrnitosti a následnému exportu dat do programu Microsoft Excel. Průměry částic byly převedeny na milimetry. Z upravených a poté zprůměrovaných dat došlo k vykreslení zrnitostních křivek pro jednotlivé vrstvy s označením SA, SB, HA a HB. Jejich grafické vyjádření je na Obr. 39



Obr. 39 Grafické vyjádření zrnitosti pro jednotlivé vrstvy vyhodnocené pomocí laserové difrakce

15.4 DISKUSE

Tato metoda je časově oproti ostatním metodám velmi nenáročná. Její benefity spočívají v přesném měření velmi malých částic. Zpracování výstupů je velmi jednoduché a rychlé, díky programu, ve kterém měřicí přístroj pracuje. Široká škála nastavení vyhodnocení a průběhu analýzy tzv. SOP umožňuje velkou variabilitu využití. Rozdílný přístup k měření velikosti částic umožňuje další pohled a kontrolu při standardních zkouškách fungujících na principu Stokesova zákona, čili rychlosti usazování částic. Současně je tato metoda stále nového charakteru a není při vyhodnocení zrnitosti půd zatím příliš běžná. Při analýze může dojít k nepřesnostem. Vztahy mezi vyhodnocením pomocí laserové difrakce a standardních sedimentačních metod jsou popsány už v mnoha publikacích, ale výsledky totožných testovaných vzorků nejsou napříč metodami vždy stejné. V České republice není tento typ analýzy v současné době ještě popsán v normách, neměly by být tedy výsledky interpretovány pro další inženýrské použití. Využití laseru pro určení zrnitosti zemin je zatím v oblasti zkoumání a srovnávání výsledků s klasickými metodami. Metoda laserové difrakce nefunguje na principu Stokesova zákona, ale je přímou metodou měření velikosti částice. Výstupem metody je množství výskytů částic daného průměru v testovaném vzorku.

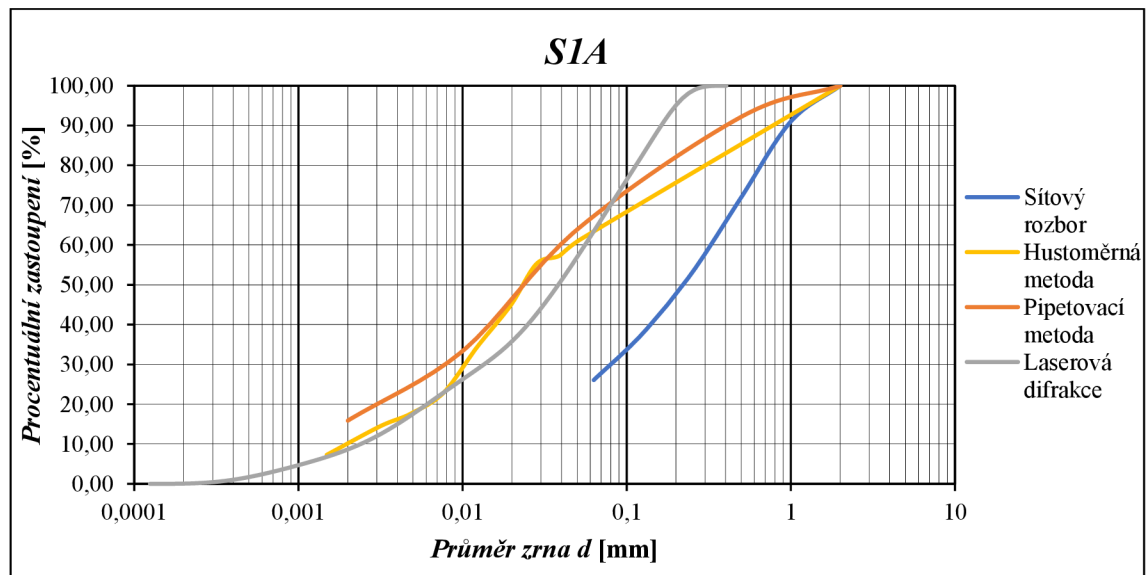
16 VYHODNOCENÍ A KLASIFIKACE

V podkapitolách této kapitoly jsou graficky znázorněny zrnitostní složení jednotlivých vzorků zemin, ty lze vidět na Obr. 40, Obr. 42, Obr. 44, Obr. 46, Obr. 48, Obr. 50, Obr. 52, Obr. 54, Obr. 56, Obr. 58, Obr. 60 a Obr. 62. Půdní druh je na základě zrnitostních křivek určen u hustoměrné metody, pipetovací metody a metody laserové difrakce. V případě síťového rozboru byla použita sada sít pro rozbor částic velikostně spadajících pouze do frakce písku. To znamená, že jsou tyto výsledky v rámci klasifikace a tvorby názvu půdního druhu nepoužitelné. Přesto je, a nejen pro metodu prosévání, hlavním hodnotícím parametrem grafické znázornění zrnitostního obsahu, které je pro porovnání výsledků měření napříč jednotlivými metodami stěžejní.

Cílem diplomové práce bylo určení distribuce velikostí částic pomocí několika metod, obsah práce nebyl zaměřen na stanovení plasticity. Nebylo tedy možné klasifikovat zeminy i dle tohoto kritéria. Proto byly půdní druhy určeny pouze na základě klasifikačního systému USDA, Kopeckého a Nováka. Konkrétní půdní druhy jednotlivých vzorků jsou v Tab. 26, Tab. 27, Tab. 28, Tab. 29, Tab. 30, Tab. 31, Tab. 32, Tab. 33, Tab. 34, Tab. 35, Tab. 36 a Tab. 37 a slouží pro orientační posouzení, jelikož v mnoha případech se zrnitostní rozložení pohybuje na hranicích mezi jednotlivými půdními druhy a současně jsou některé klasifikační oblasti poměrně široké. Není proto vhodné hodnotit metody pouze na základě určeného půdního druhu. Vhodnějším ukazatelem je grafické znázornění půdního druhu v klasifikačním trojúhelníku USDA na Obr. 41, Obr. 43, Obr. 45, Obr. 47, Obr. 49, Obr. 51, Obr. 53, Obr. 55, Obr. 57, Obr. 59, Obr. 61 a Obr. 63, nebo porovnání zrnitostních křivek. V klasifikačních trojúhelnících jsou výsledky hustoměrné metody označeny značkou číslicí 1, výsledky pipetovací metody značkou číslicí 2 a výsledky laserové difrakce značkou číslicí 3.

16.1 VZORKY

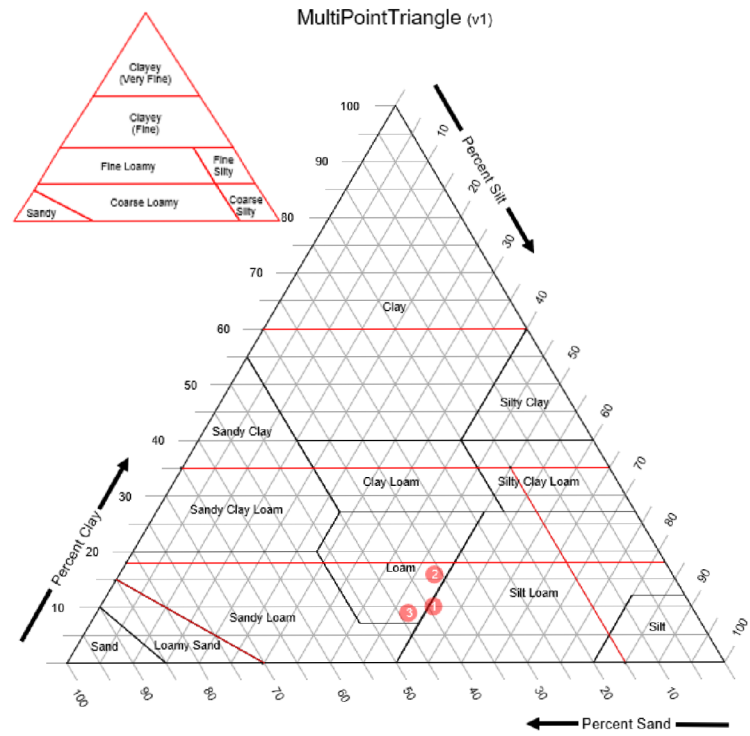
16.1.1 S1A



Obr. 40 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku S1A vyhodnocené všemi metodami

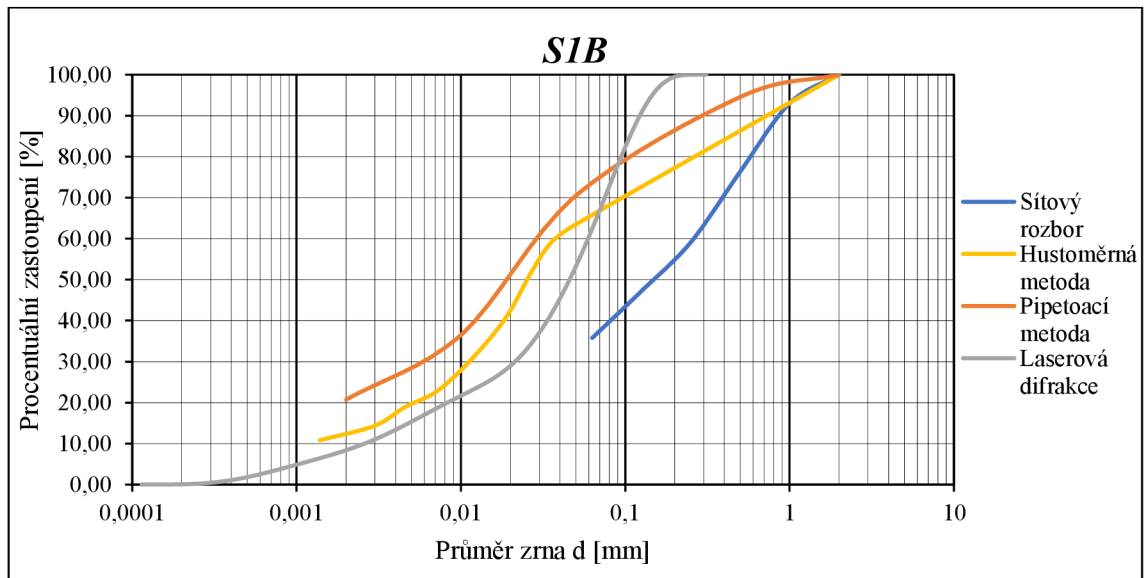
Tab. 26 Přehled půdních druhů vzorku S1A

S1A						
Klasifikační systém	Název frakce	Velikost částic [mm]	Metoda			
			Hustoměrná	Pipetovací	Laserová dif.	
			Obsah částic [%]			
USDA	písek	0,05 - 2,0	39,10	36,10	43,47	
	prach	0,002 - 0,05	50,72	48,01	47,63	
	jíl	< 0,002	10,18	15,89	8,91	
				Půdní druh		
			prachovitá hlína	hlína	hlína	
Kopecký	prach	0,01 - 0,05	31,70	30,53	30,17	
	jílnaté částice	< 0,01	29,20	33,37	26,36	
				Půdní druh		
				hlína jemně písčitá	hlína jemně písčitá	hlína jemně písčitá
Novák	jílnaté částice	< 0,01	29,20	33,37	26,36	
				Půdní druh		
				písčitohlinitá	hlinitá	písčitohlinitá



Obr. 41 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek S1A [51]

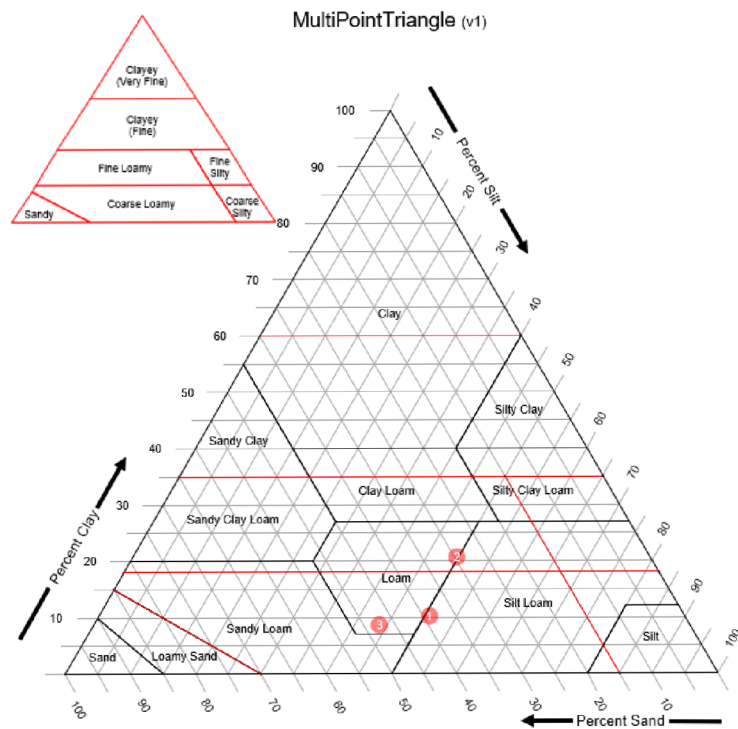
16.1.2 S1B



Obr. 42 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku S1B vyhodnocené všemi metodami

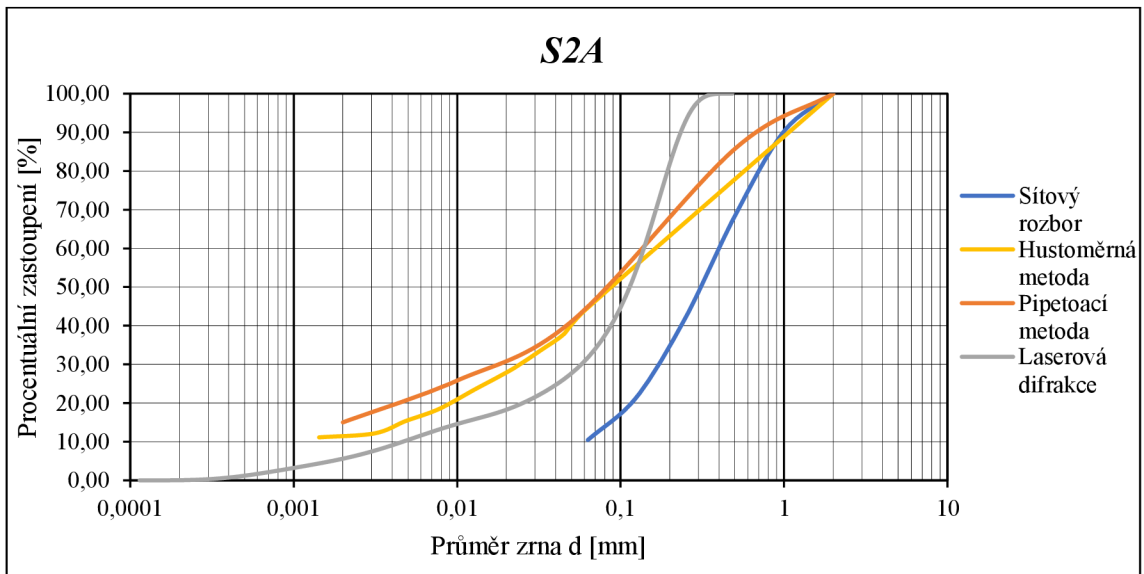
Tab. 27 Přehled půdních druhů vzorku S1B

S1B						
Klasifikační systém	Název frakce	Velikost částic [mm]	Metoda			
			Hustoměrná	Pipetovací	Laserová dif.	
			Obsah částic [%]			
USDA	písek	0,05 - 2,0	39,10	29,55	47,50	
	prach	0,002 - 0,05	50,72	49,75	43,90	
	jíl	< 0,002	10,18	20,70	8,59	
				Půdní druh		
			prachovitá hlína	hlína	hlína	
Kopecký	prach	0,01 - 0,05	35,60	33,96	30,75	
	jílkaté částice	< 0,01	27,90	36,50	21,75	
				Půdní druh		
				hlína písčítá	hlína	hlína jemně písčítá
Novák	jílkaté částice	< 0,01	27,90	36,50	21,75	
				Půdní druh		
				písčitohlinitá	hlinitá	písčitohlinitá



Obr. 43 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek S1B [51]

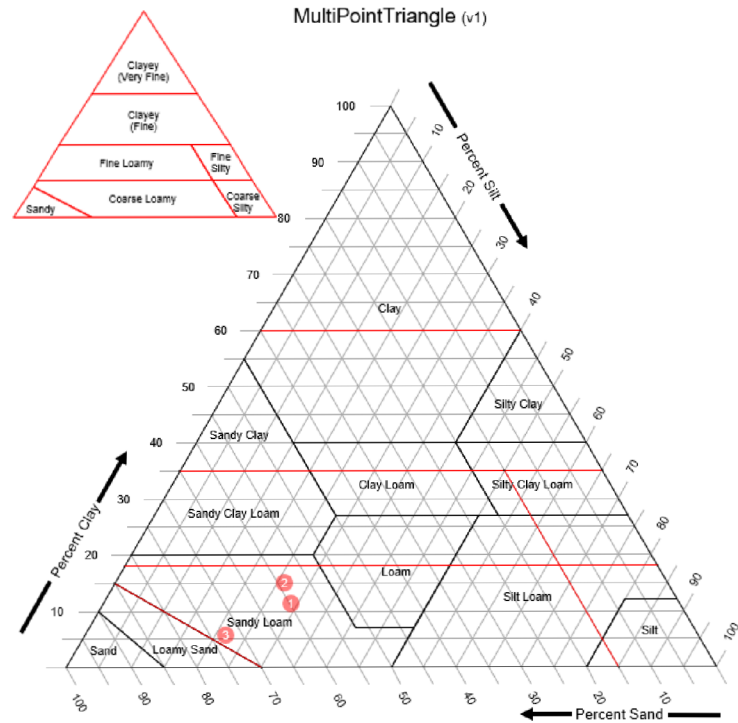
16.1.3 S2A



Obr. 44 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku S2A vyhodnocené všemi metodami

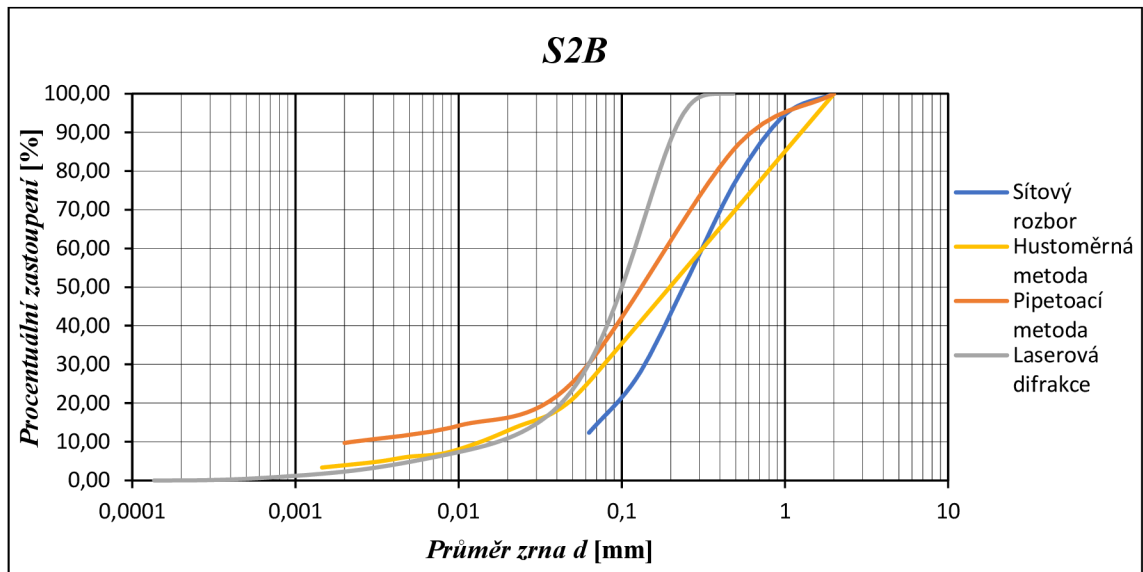
Tab. 28 Přehled půdních druhů vzorku S2A

S2A					
Klasifikační systém	Název frakce	Velikost částic [mm]	Metoda		
			Hustoměrná	Pipetovací	Laserová dif.
			Obsah částic [%]		
USDA	písek	0,05 - 2,0	59,75	58,93	72,60
	prach	0,002 - 0,05	28,80	26,07	21,64
	jíl	< 0,002	11,45	15,00	5,75
			Půdní druh		
			písčítá hlína	písčítá hlína	písčítá hlína
Kopecký	prach	0,01 - 0,05	19,30	15,26	12,77
	jílnaté částice	< 0,01	20,95	25,81	14,63
			Půdní druh		
			písek hlinitý	písčito jílnato hlinitá	písek hlinitý
Novák	jílnaté částice	< 0,01	20,95	25,81	14,63
			Půdní druh		
			písčitohlinitá	písčito hlinitá	hlinitopísčítá



Obr. 45 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek S2A [51]

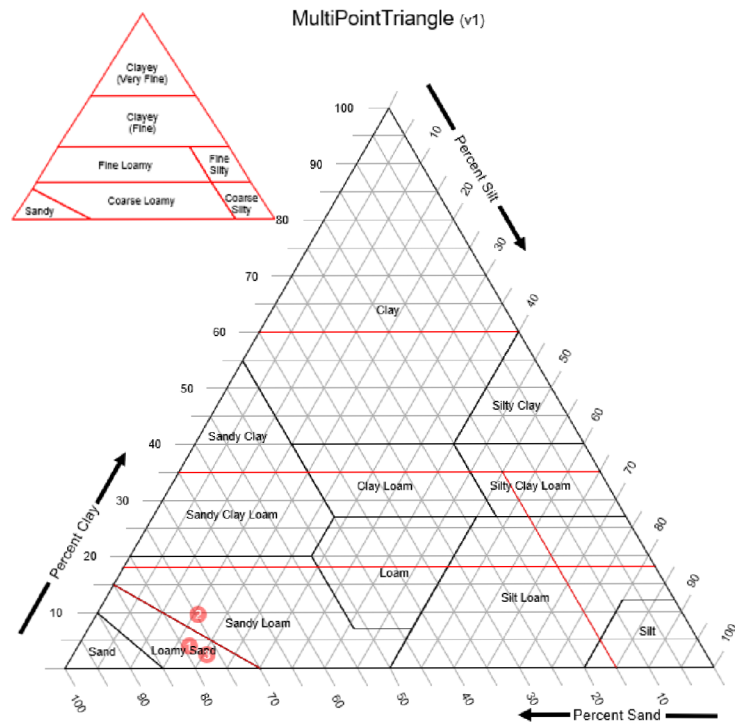
16.1.4 S2B



Obr. 46 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku S2B vyhodnocené všemi metodami

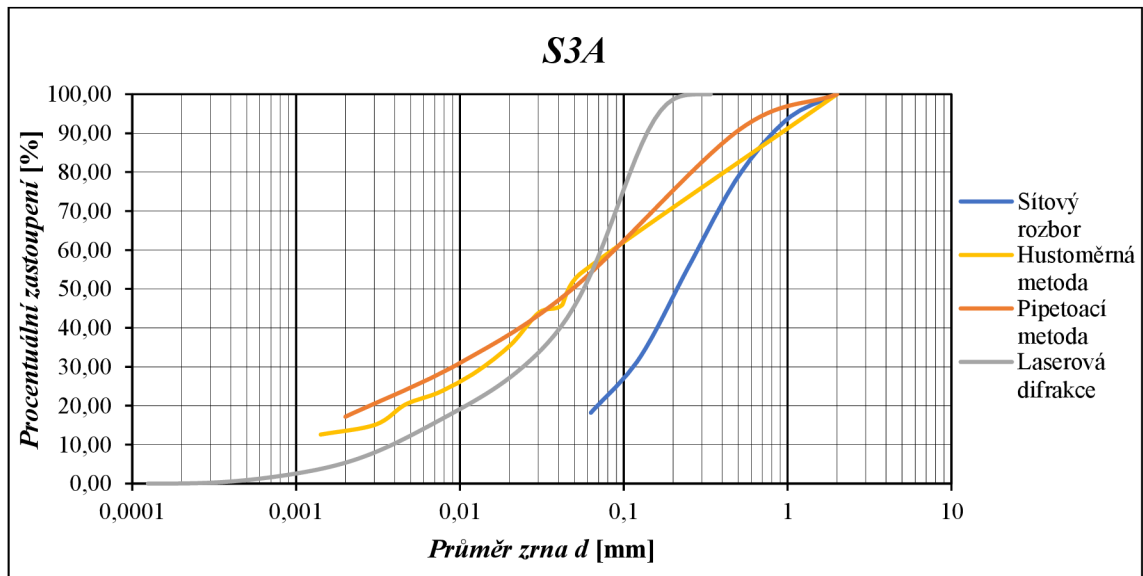
Tab. 29 Přehled půdních druhů vzorku S2B

S2B						
Klasifikační systém	Název frakce	Velikost částic [mm]	Metoda			
			Hustoměrná	Pipetovací	Laserová dif.	
			Obsah částic [%]			
USDA	písek	0,05 - 2,0	78,90	74,59	76,93	
	prach	0,002 - 0,05	17,10	15,71	20,70	
	jíl	< 0,002	4,00	9,70	2,37	
				Půdní druh		
			hlinitý písek	písečná hlína	hlinitý písek	
Kopecký	prach	0,01 - 0,05	13,10	11,24	15,70	
	jílkaté částice	< 0,01	8,00	14,17	7,37	
				Půdní druh		
				písek slabě hlinitý	písek hlinitý	písek slabě hlinitý
Novák	jílkaté částice	< 0,01	8,00	14,17	7,37	
				Půdní druh		
				písečná	hlinitopísečná	písečná



Obr. 47 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek S2B [51]

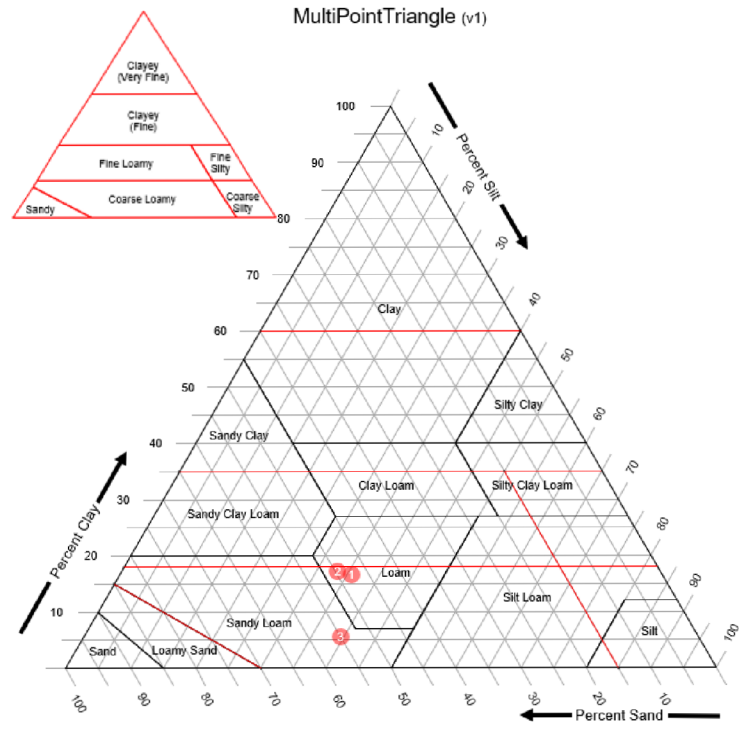
16.1.5 S3A



Obr. 48 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku S3A vyhodnocené všemi metodami

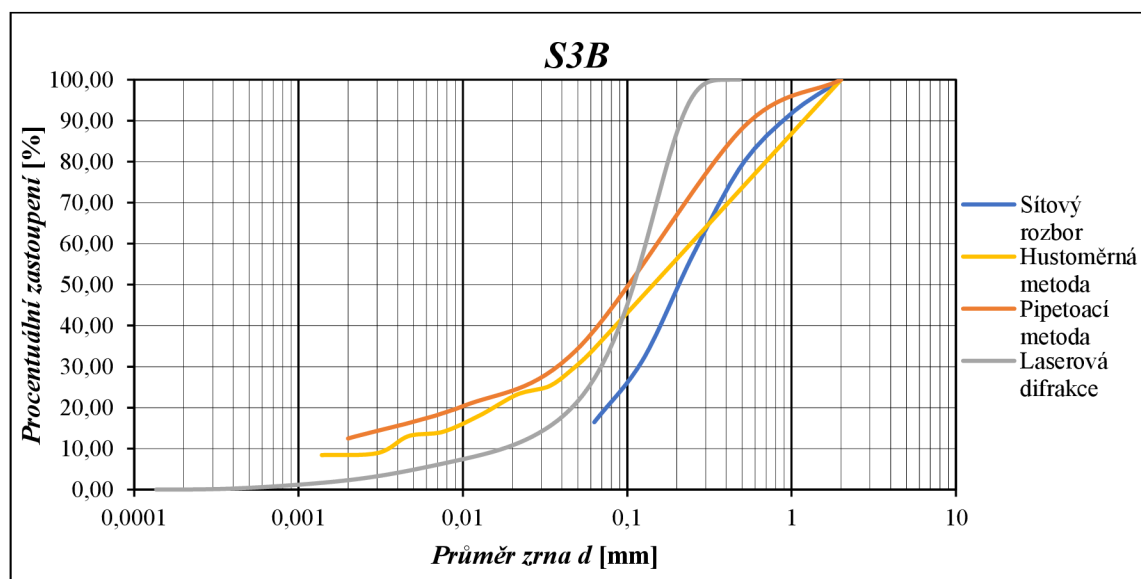
Tab. 30 Přehled půdních druhů vzorku S3A

S3A						
Klasifikační systém	Název frakce	Velikost částic [mm]	Metoda			
			Hustoměrná	Pipetovací	Laserová dif.	
			Obsah částic [%]			
USDA	písek	0,05 - 2,0	47,80	49,58	54,97	
	prach	0,002 - 0,05	35,65	33,25	39,47	
	jíl	< 0,002	16,55	17,17	5,56	
				Půdní druh		
			hlína	hlína	písčítá hlína	
Kopecký	prach	0,01 - 0,05	26,00	19,44	25,80	
	jílnaté částice	< 0,01	26,20	30,98	19,23	
				Půdní druh		
				hlína jemně písčítá	písčito jílnato hlinitá	písek hlinitý
Novák	jílnaté částice	< 0,01	26,20	30,98	19,23	
				Půdní druh		
				písčitohlinitá	hlinitá	hlinitopísčítá



Obr. 49 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek S3A [51]

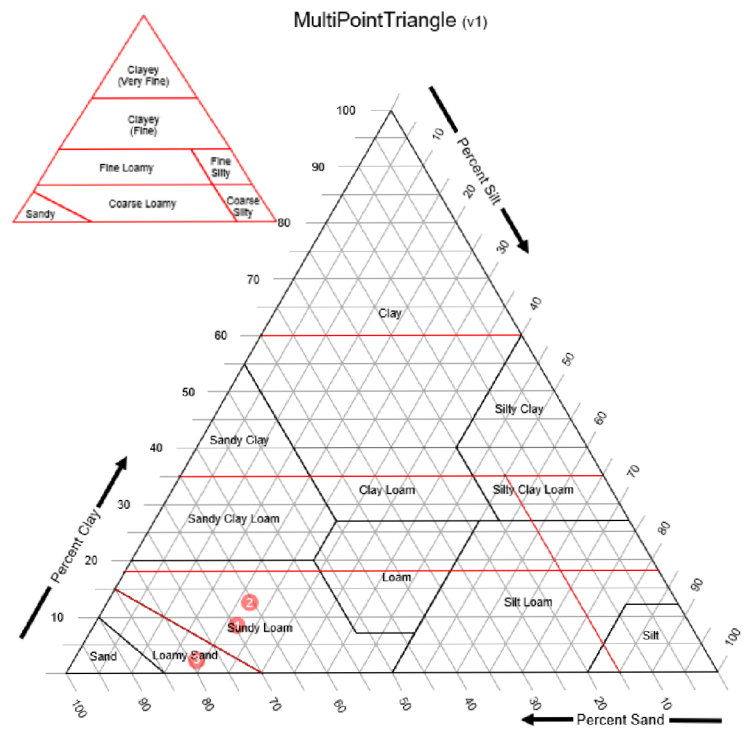
16.1.6 S3B



Obr. 50 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku S3B vyhodnocené všemi metodami

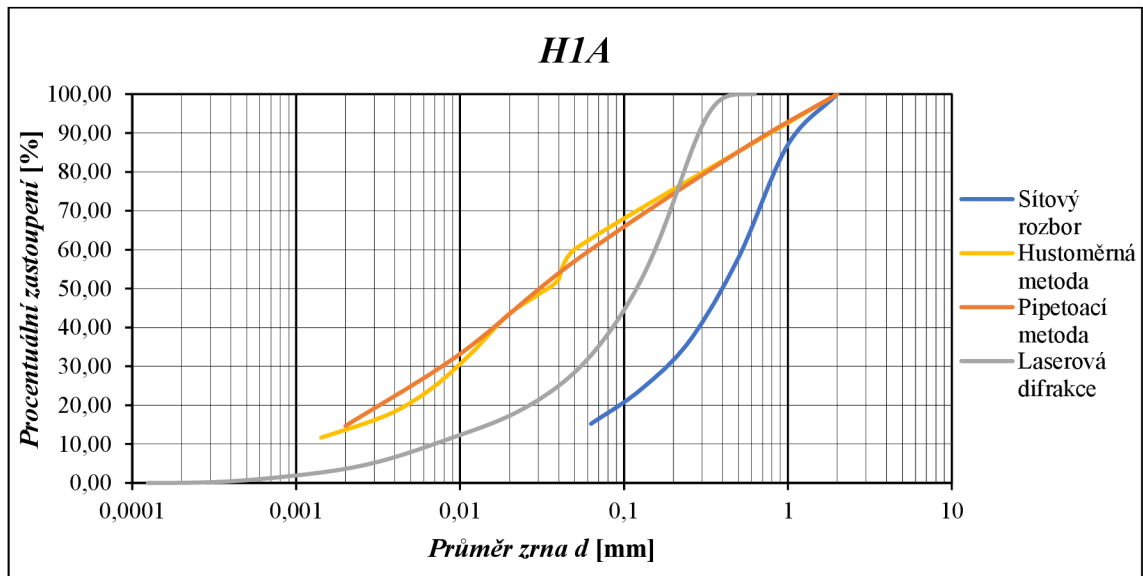
Tab. 31 Přehled půdních druhů vzorku S3B

S3B					
Klasifikační systém	Název frakce	Velikost částic [mm]	Metoda		
			Hustoměrná	Pipetovací	Laserová dif.
Obsah částic [%]					
USDA	písek	0,05 - 2,0	69,50	65,62	78,80
	prach	0,002 - 0,05	22,05	21,91	18,83
	jíl	< 0,002	8,45	12,47	2,37
				Půdní druh	
			písčítá hlína	písčítá hlína	hlinitý písek
Kopecký	prach	0,01 - 0,05	14,45	14,30	13,75
	jílkaté částice	< 0,01	16,05	20,35	7,45
				Půdní druh	
			písek hlinitý	písek hlinitý	písek slabě hlinitý
Novák	jílkaté částice	< 0,01	16,05	20,35	7,45
				Půdní druh	
			hlinitopísčítá	písčítóhlinitá	písčítá



Obr. 51 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek S3B [51]

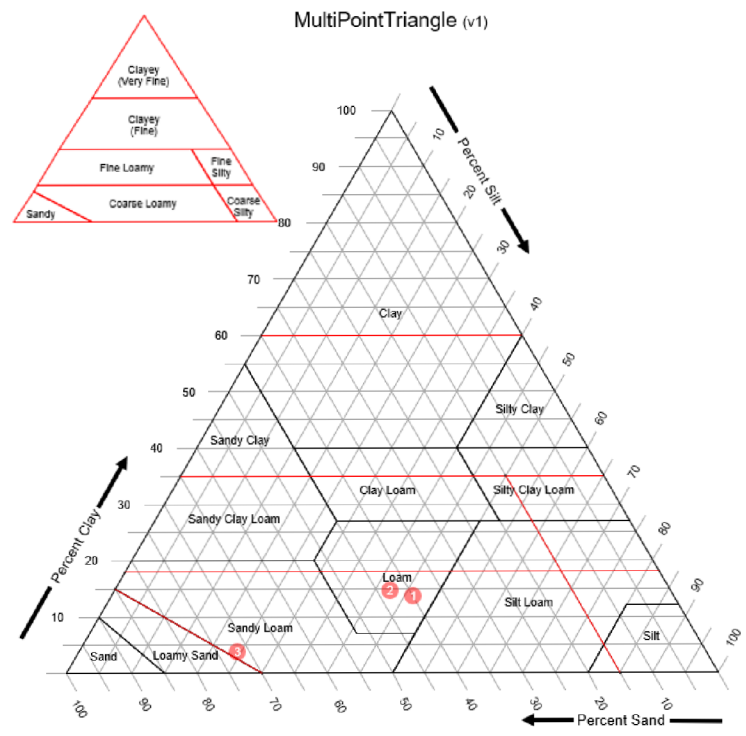
16.1.7 H1A



Obr. 52 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku H1A vyhodnocené všemi metodami

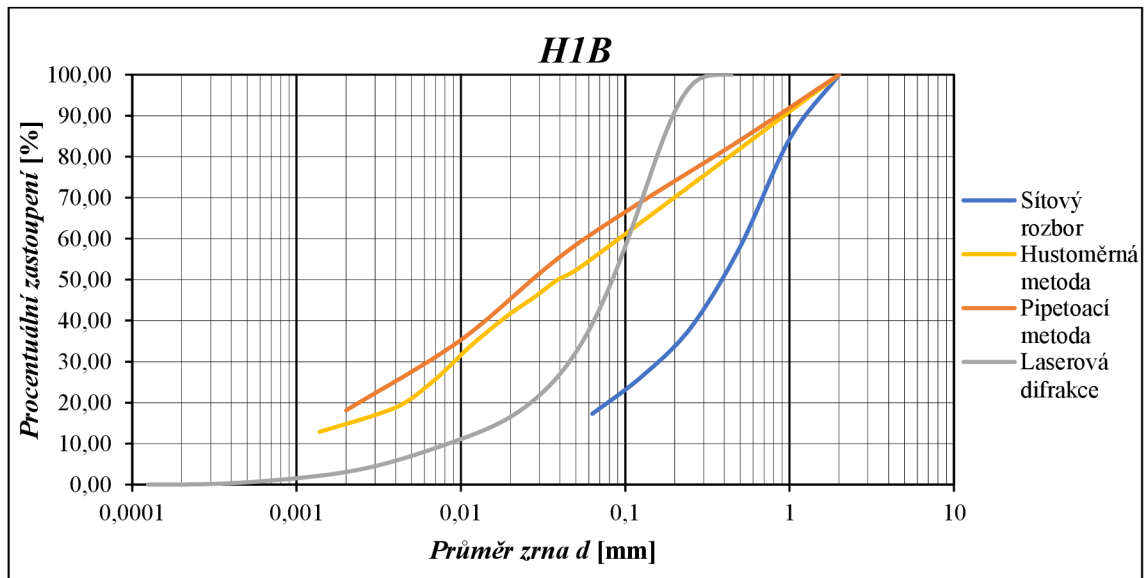
Tab. 32 Přehled půdních druhů vzorku H1A

H1A						
Klasifikační systém	Název frakce	Velikost částic [mm]	Metoda			
			Hustoměrná	Pipetovací	Laserová dif.	
			Obsah částic [%]			
USDA	písek	0,05 - 2,0	39,90	42,98	71,87	
	prach	0,002 - 0,05	46,40	42,36	24,38	
	jíl	< 0,002	13,70	14,66	3,75	
				Půdní druh		
			hlína	hlína	písčitá hlína	
Kopecký	prach	0,01 - 0,05	29,50	23,83	15,74	
	jílnaté částice	< 0,01	30,60	33,19	12,39	
				Půdní druh		
				hlína jemně písčitá	hlína jemně písčitá	písek hlinitý
Novák	jílnaté částice	< 0,01	30,60	33,19	12,39	
				Půdní druh		
				hlinitá	hlinitá	písčitohlinitá



Obr. 53 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek H1A [51]

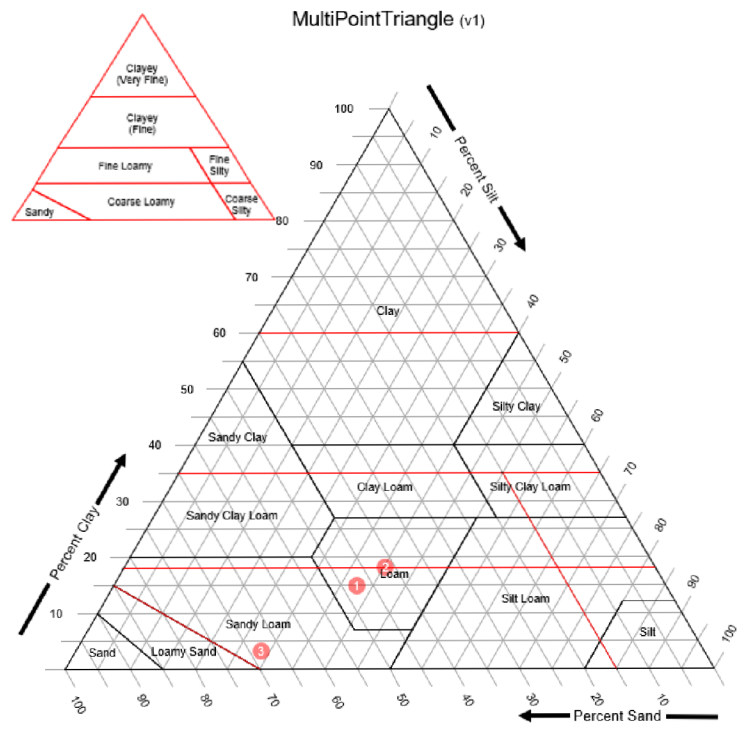
16.1.8 H1B



Obr. 54 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku H1B vyhodnocené všemi metodami

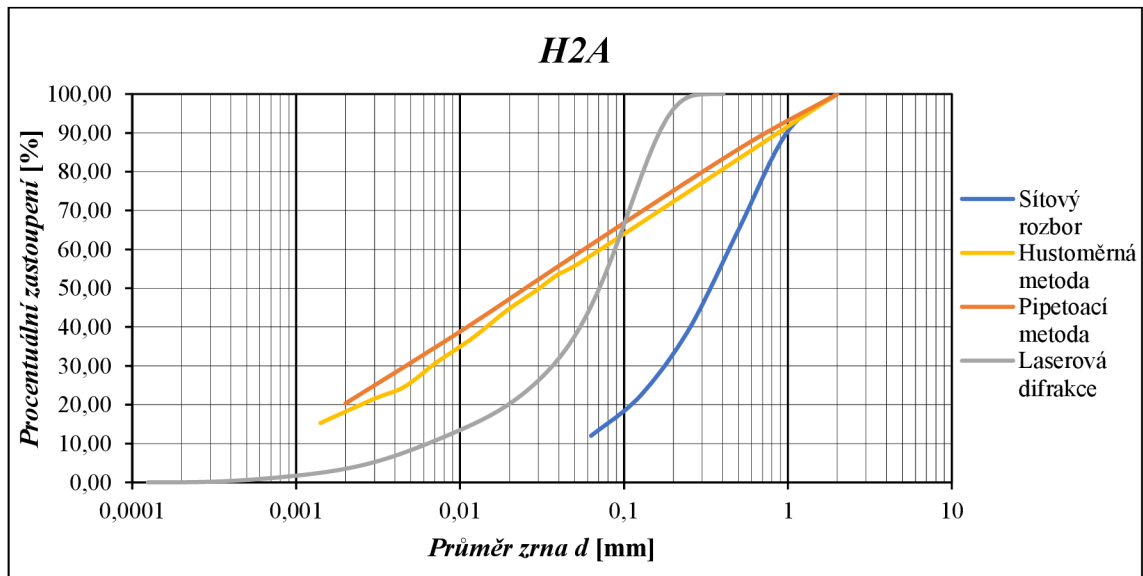
Tab. 33 Přehled půdních druhů vzorku H1B

H1B						
Klasifikační systém	Název frakce	Velikost částic [mm]	Metoda			
			Hustoměrná	Pipetovací	Laserová dif.	
			Obsah částic [%]			
USDA	písek	0,05 - 2,0	47,70	41,55	68,25	
	prach	0,002 - 0,05	37,50	40,35	28,58	
	jíl	< 0,002	14,80	18,10	3,18	
				Půdní druh		
			hlína	hlína	písčitá hlína	
Kopecký	prach	0,01 - 0,05	20,70	23,16	20,60	
	jilnaté částice	< 0,01	31,60	35,30	11,15	
				Půdní druh		
				hlína jemně písčitá	hlína jemně písčitá	písek hlinitý
Novák	jilnaté částice	< 0,01	31,60	35,30	11,15	
				Půdní druh		
				hlinitá	hlinitá	hlinitopísčitá



Obr. 55 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek H1B [51]

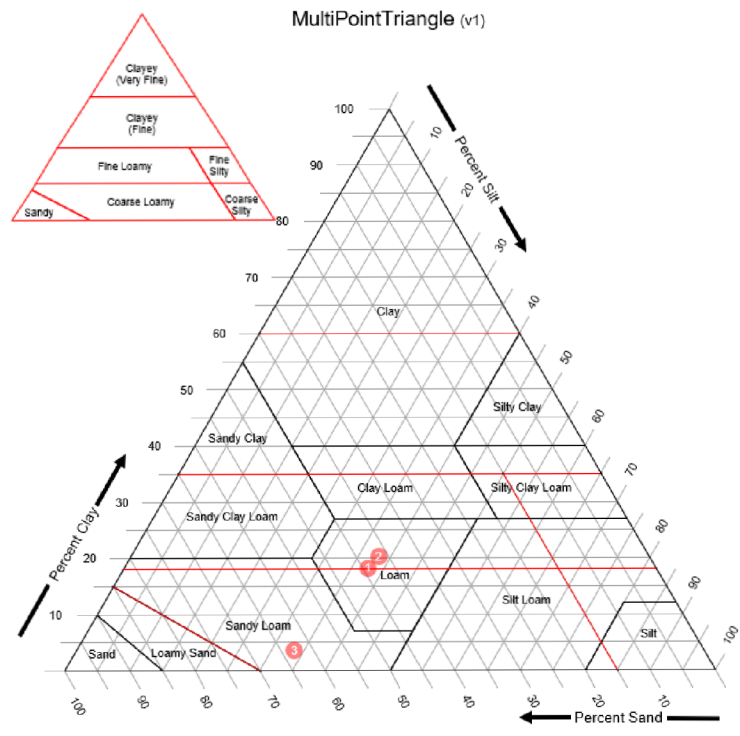
16.1.9 H2A



Obr. 56 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku H2A vyhodnocené všemi metodami

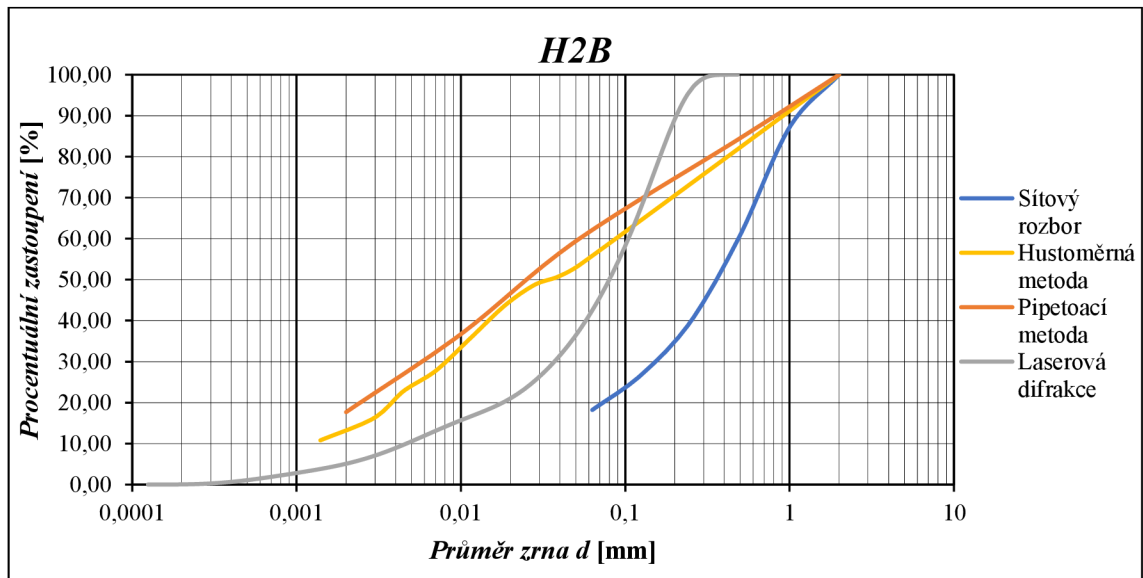
Tab. 34 Přehled půdních druhů vzorku H2A

H2A						
Klasifikační systém	Název frakce	Velikost částic [mm]	Metoda			
			Hustoměrná	Pipetovací	Laserová dif.	
			Obsah částic [%]			
USDA	písek	0,05 - 2,0	44,25	41,57	62,88	
	prach	0,002 - 0,05	37,50	38,10	33,49	
	jíl	< 0,002	18,25	20,33	3,63	
				Půdní druh		
			hlína	hlína	písčítá hlína	
Kopecký	prach	0,01 - 0,05	20,80	19,61	23,57	
	jílnaté částice	< 0,01	34,95	38,82	13,55	
				Půdní druh		
				hlína jemně písčítá	písčito jílnato hlinitá	písek hlinitý
Novák	jílnaté částice	< 0,01	34,95	38,82	13,55	
				Půdní druh		
				hlinitá	hlinitá	hlinitopísčítá



Obr. 57 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek H2A [51]

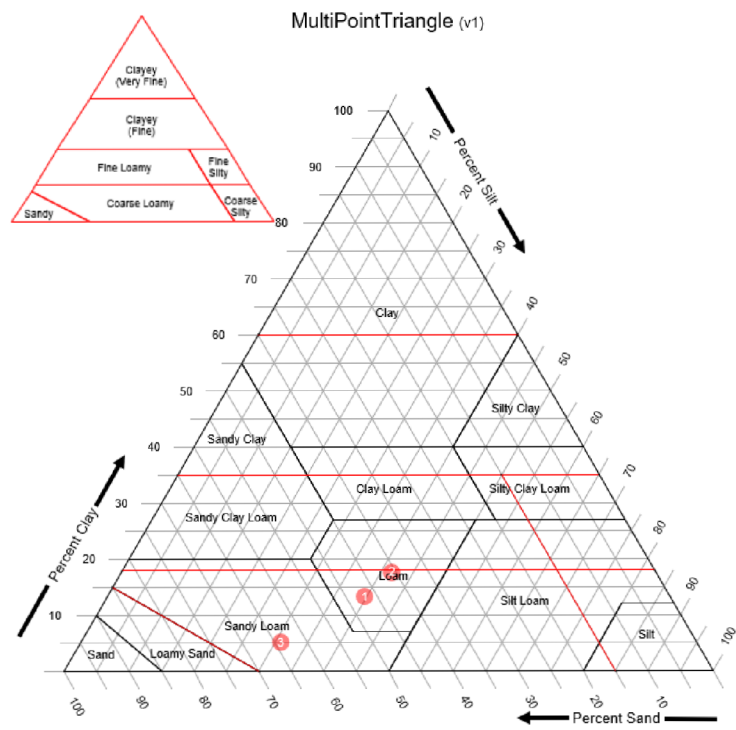
16.1.10H2B



Obr. 58 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku H2B vyhodnocené všemi metodami

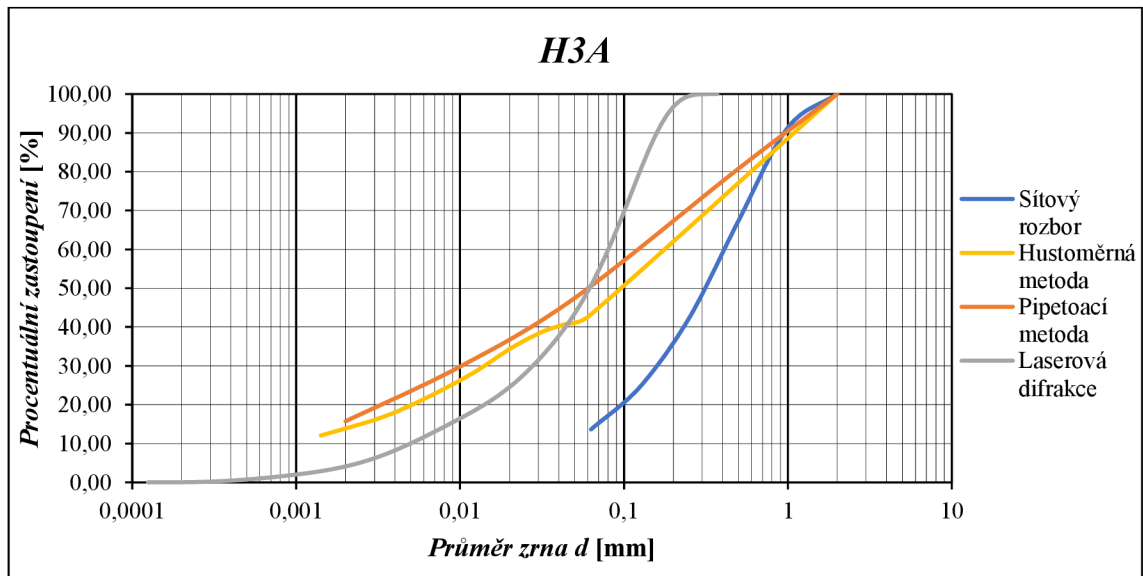
Tab. 35 Přehled půdních druhů vzorku H2B

H2B						
Klasifikační systém	Název frakce	Velikost částic [mm]	Metoda			
			Hustoměrná	Pipetovací	Laserová dif.	
Obsah částic [%]						
USDA	písek	0,05 - 2,0	47,05	40,61	64,02	
	prach	0,002 - 0,05	39,70	41,71	30,75	
	jíl	< 0,002	13,25	17,68	5,23	
				Půdní druh		
			hlína	hlína	písčítá hlína	
Kopecký	prach	0,01 - 0,05	19,45	22,67	20,22	
	jílnaté částice	< 0,01	33,50	36,71	15,76	
				Půdní druh		
				písčito jílnato hlinitá	hlína jemně písčítá	písek hlinitý
Novák	jílnaté částice	< 0,01	33,50	36,71	15,76	
				Půdní druh		
				hlinitá	hlinitá	hlinitopísčítá



Obr. 59 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek H2B [51]

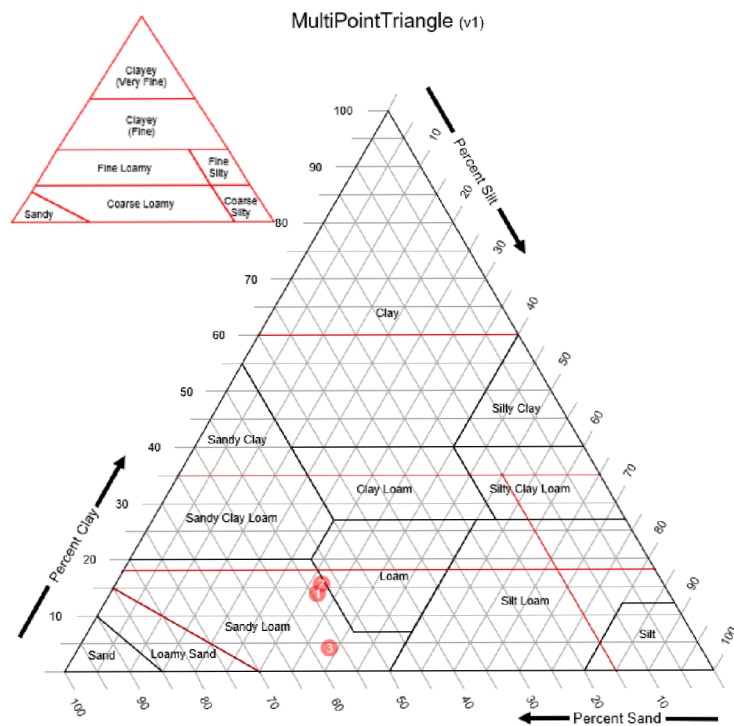
16.1.11 H3A



Obr. 60 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku H3A vyhodnocené všemi metodami

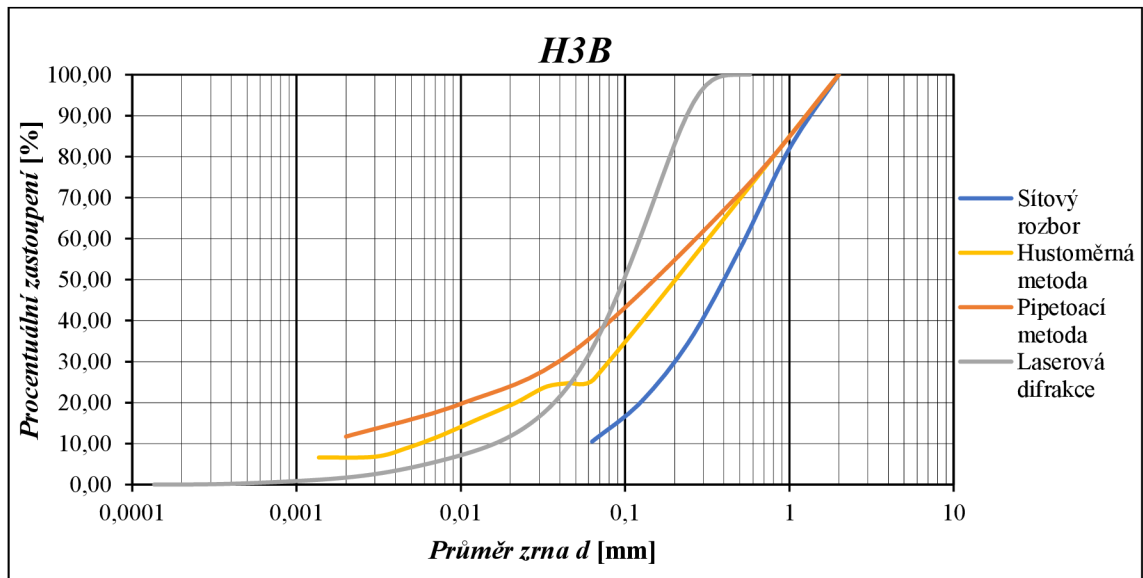
Tab. 36 Přehled půdních druhů vzorku H3A

H3A						
Klasifikační systém	Název frakce	Velikost částic [mm]	Metoda			
			Hustoměrná	Pipetovací	Laserová dif.	
Obsah částic [%]						
USDA	písek	0,05 - 2,0	54,05	52,55	57,06	
	prach	0,002 - 0,05	32,05	31,73	38,68	
	jíl	< 0,002	13,90	15,72	4,26	
				Půdní druh		
			písčítá hlína	písčítá hlína	písčítá hlína	
Kopecký	prach	0,01 - 0,05	19,65	17,64	26,39	
	jílnaté částice	< 0,01	26,30	29,80	16,55	
				Půdní druh		
				písčito jílnato hlinitá	písčito jílnato hlinitá	písek hlinitý
Novák	jílnaté částice	< 0,01	26,30	29,80	16,55	
				Půdní druh		
				písčitohlinitá	hlinitopísčítá	hlinitopísčítá



Obr. 61 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek H3A [51]

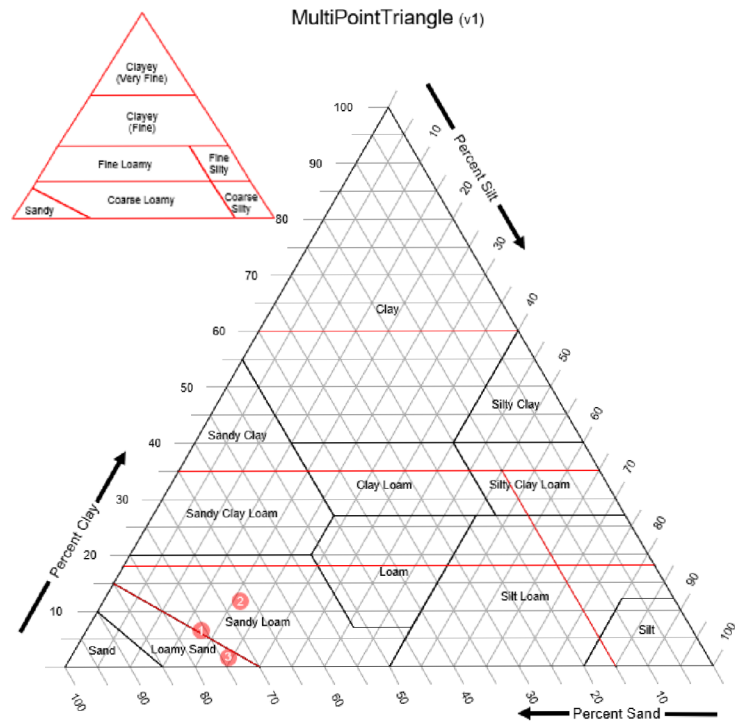
16.1.12 H3B



Obr. 62 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku H3B vyhodnocené všemi metodami

Tab. 37 Přehled půdních druhů vzorku H3B

H3B						
Klasifikační systém	Název frakce	Velikost částic [mm]	Metoda			
			Hustoměrná	Pipetovací	Laserová dif.	
Obsah částic [%]						
USDA	písek	0,05 - 2,0	75,77	67,08	73,97	
	prach	0,002 - 0,05	17,68	21,22	24,26	
	jíl	< 0,002	6,55	11,70	1,77	
				Půdní druh		
			písčítá hlína	písčítá hlína	hlinitý písek	
Kopecký	prach	0,01 - 0,05	20,13	13,22	18,83	
	jílnaté částice	< 0,01	4,10	19,70	7,21	
				Půdní druh		
				písek slabě hlinitý	písek hlinitý	písek slabě hlinitý
Novák	jílnaté částice	< 0,01	4,10	19,70	7,21	
				Půdní druh		
				písčítá	hlinitopísčítá	písčítá



Obr. 63 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek H3B [51]

16.2 HODNOCENÍ PAVEDENÝCH METOD

16.2.1 PROSÉVACÍ METODA

Prosévání je jednou z nejvíce častých zrnitostních analýz. Suchý proces prosévání, jež byl v rámci diplomové práce proveden, není v případě jemnozeme zcela vhodný. I přes snahu rozbít během přípravy vzorku agregáty v třecí misce není tato úprava dostatečná. Tomu nasvědčuje fakt, že jsou oproti zbylým zkouškám zrnitostní křivky posunuty značně doprava. Dalo by se tvrdit, že v případě mokrého způsobu prosévání by tato nepřesnost mohla být alespoň z části redukována, protože by agregáty mohly být alespoň částečně rozpojeny. Současně i v případě vzorků s odlišným zrnitostním zastoupením a s výraznějším podílem hrubého písku či štěrku, vliv jemnozrných agregátů nebude mít tak výrazný dopad na výsledek, jako tomu bylo v tomto případě hlín, písčitých hlín, hlinitých písků atd. Značně limitovaná velikost ok sít také představuje velkou nevýhodu, jelikož se použitelnost metody eliminuje na již zmíněné zeminy s nízkým poměrem jemných frakcí, už z pohledu jejich nezměřitelnosti, tak z pohledu nerozpojitelných agregátů, které mohou simulovat obsah hrubší frakce. Tato metoda nenaplnila podstatu zrnitostního rozboru, jelikož jsou výsledky zcela neshodné s ostatními provedenými metodami.

Ruční prosévání za mokra bylo také doplňkovou metodou pro analýzu sedimentovaných částic po ukončení odběrů pomocí pipety. Často bývá prosévání na hrubších sítích aplikováno i před hustoměrnou metodou, do které jsou následně aplikovány pouze jemnější částice a křivka zrnitosti je kombinací obou metod.

16.2.2 HUSTOMĚRNÁ METODA

Hustoměrná metoda fungující na principu Stokesova zákona je poměrně zdlouhavou a asi i nejnáročnější zrnitostní analýzou. Rozsah měření je široký a je naprosto dostačující pro klasifikaci jemnozrných zemin. Maximální možný průměr zrna analyzovatelný touto metodou je 2,0 mm. Větší zrna nesmí být během zkoušky přítomny, proto je v některých případech nutné provést prosévání před začátkem sedimentační zkoušky.

Jedná se o nepřímou metodu měření a sledovanou veličinou je sedimentační rychlost vycházející ze Stokesova zákona. Zrna zeminy jsou nahrazována dokonale kulovitými částicemi. Tento fakt negativně ovlivňuje výsledek, jelikož dokonale kulovité částice se v rámci půdních částic takřka nevyskytují. Zmíněný jev ovlivňuje především obsah jílových částic ve vzorku, protože jejich tvar je podobný spíše šupině nebo destičce. Toto tvrzení bylo po vyhodnocení měření potvrzeno, výsledné nadhodnocení jílových částic není tak velké, jako tomu je u pipetovací metody.

Grafické vyhodnocení hustoměrné metody je velmi podobné a současně má i podobný průběh zrnitostních křivek jako tomu je u pipetovací metody. I přesto, že byla v odměrném válci přítomna široká frakce částic (pod 2 mm včetně), výsledky jsou v rámci provedených sedimentačních metod velice podobné.

Všechny zrnitostní křivky jsou v oblasti částic do 0,01 mm posunuty u všech vzorků řádově o 2 až 8 % dolů. To znamená, že je zjištěný obsah částic v oblasti do 0,01 mm o tyto procenta nižší, než je tomu u pipetovací metody.

U vzorků odebraných z orniční vrstvy označených písmenem A v oblasti grafu od 0,01 do 0,1 mm je průběh takový, že je rozdíl mezi obsahem částic, tedy rozdíl mezi zrnitostními křivkami, menší, či dokonce v této oblasti zrnitostní křivka hustoměrné metody mírně vystupuje nad křivku pipetovací metody.

U vzorků z podomiční vrstvy je rozdíl mezi křivkami v oblasti od 0,01 do 0,1 mm přibližně stejný jako tomu je v oblasti do 0,01 mm.

Rozdíly mezi zrnitostními křivkami sedimentačních metod v oblasti od 0,1 mm se postupně snižují až do mezní hodnoty průměru zrna 2 mm.

Křivky zrnitosti hustoměrné metody nejsou oproti ostatním křivkám plynulé, může to být pravděpodobně způsobeno přesností odečtu z hustoměrné stupnice, které je velmi individuální, závislé na čase a v některých případech ovlivněno i pěnou, jež se může objevovat na hladině suspenze. Současně se tyto neplynulé oblasti křivky pohybují především v prostoru prvního měřeného bodu, pro který je čtení prováděno v čase 30 sekund. V případě prvních čtení klesá hustoměr v suspenzi velmi rychle a je nutné klást zvýšený důraz na čas odečtu.

První měřený bod je situován u všech vzorků v oblasti průměru částic 0,05 až 0,07 mm, procentuální zastoupení částic v této oblasti se pohybuje v širokém intervalu mezi 26,91 až 62,8 % v závislosti na typu zeminy. V oblasti spodní hranice tohoto intervalu jde o písek, v oblasti horní hranice o hlínu. Protože je hodnota prvního měřeného bodu odečítána už v čase 30 sekund a tento čas je, dá se tvrdit, hraniční, jelikož po konci míchání je nutné hustoměr vložit okamžitě do suspenze a to tak, aby k jeho ustálení došlo ve velmi krátkém čase a mohlo být takřka okamžitě provedeno čtení, není možné, aby mezi bodem popisujícím maximální možný průměr částice 2 mm a prvním měřeným bodem bylo provedeno více čtení a křivka zrnitosti byla v této široké oblasti více definována.

V případě, že by byl přítomný maximální průměr zrna menšího průměru, byla by nedefinovaná oblast menší. Tento fakt je možné zajistit pouze separací částic pomocí sít před začátkem sedimentační zkoušky.

Zbylé části křivky jsou definovány dostatečně a rozložení bodů je rovnoměrné.

16.2.3 PIPETOVACÍ METODA

Pipetovací metoda je další ze sedimentačních analýz, její proces přípravy je poněkud zdlouhavějšího charakteru, ale je oproti prosévání zamezeno obsahu agregátů v měřené suspenzi. Samotné měření je kratšího trvání, než je například u hustoměrné metody. K chybovosti může dojít v případě nekonstantních okolních podmínek během procesu měření. Jelikož se v hlavní fázi jedná o nepřímou metodu měření a sledovanou veličinou je sedimentační rychlost vycházející ze Stokesova zákona, jsou ve výpočtu zrna zeminy nahrazována dokonale kulovitými částicemi, i přestože se dokonale kulovité částice v oblasti půdních částic takřka nevyskytují. Obsah jílových částic ve vzorku může být tímto faktem velmi ovlivněn, protože jejich tvar je bližší spíše šupině nebo destičce. Obsah těchto částic bývá ve výsledku nadhodnocován. Tento fakt se dle grafických vyjádření zmitosti potvrdil u každého ze vzorků. Výsledný obsah jílových částic je u této metody nejvyšší.

Pipetovací metoda může také kombinovat dva přístupy pro zjištění velikosti částic. K tomu dochází v případě, že jsou při analýze přítomna větší zrna, nesmí být ovšem větší jako 2 mm. Sedimentovaný obsah na dně odměrného válce je promýván přes síta za účelem získání dat pro kompletní podobu zmitostní křivky. Dochází k velké manipulaci s analyzovanými částicemi a může dojít k nepřesnostem ve výsledcích. Negativum je, že nejmenší částice jsou opět odplaveny proudem vody. Z tohoto důvodu není při vyhodnocování metody možné dopočítat rozdíl mezi počáteční hmotností vstupního vzorku a sumou hmotností jeho jednotlivých frakcí.

Body definující zmitostní křivky jsou rozloženy rovnoměrně a křivky jsou plynulé. Oproti hustoměrné metodě je počet definujících bodů menší. Tento fakt je možné ovlivnit více odběry v průběhu sedimentace částic, případně použitím většího počtu sít pro následnou separaci již sedimentovaných částic. Přesto jsou pro klasifikaci stěžejní body definující hranice mezi klasifikačními intervaly.

16.2.4 METODA LASEROVÉ DIFRAKCE

Zrnitostní analýza vyhodnocená pomocí laserového difrakturomu je novou metodou vyznačující se oproti klasickým metodám především její rychlostí. Před začátkem zkoušky je třeba úprava vzorku, jež je poměrně časově nenáročná, ale technologicky se řadí k těm náročnějším, je potřeba vzorek odstředit v odstředivce a každá laboratoř nemusí disponovat tímto zařízením. Současně i laserový difraktor je finančně nákladné zařízení. Vyhodnocení je ale velice rychlé a detailní.

Laserová difrakce nabízí nový přístup k měření velikosti částic. Je analyzován počet výskytu částic, nikoli hmotnostní zastoupení daného průměru.

Největší úskalí metody u půdních částic spočívá ve správné aplikaci vzorku do dispergační jednotky. Jelikož množství, které je analyzováno, je velmi malé a zachycení reprezentativního obsahu půdních částic, které bývají hojně zastoupeny, může být obtížné. Tato problematika by mohla být jednodušší v případě měření frakce s malým intervalem průměrů částic. Ale u běžných zemín má tato skutečnost velmi negativní vliv na výsledek.

Průběhy zrnitostních křivek jsou plynulé a popisují interval už od částic o průměru 0,000055 mm. Maxima křivky dosahují ve všech případech mnohem dříve, než je tomu u ostatních metod. I přesto, že bylo pro separaci jemnozeme použito síto o průměru 2 mm, výskyt těchto zrn je dle vyhodnocení nulový. Křivky nabývají maxima v oblasti průměru zrn 0,311 až 0,628 mm. Tento fakt může být způsoben velikostí vzorku nebo technikou jeho aplikace do difraktometru. Také by na tuto skutečnost mohl mít vliv účinek ultrazvuku před začátkem měření, jež by mohl rozpojit jednotlivé částice. Toto zjištění vyvolává další otázky pro testování. Například by bylo vhodné provést měření bez účinku ultrazvuku nebo s nižším účinkem ultrazvuku, případně pozorovat změnu s delší dobou měření nebo větším počtem opakování.

Oproti sedimentačním metodám je první část křivky laserové difrakce ve všech případech situována níže. To jasně potvrzuje tvrzení o nadhodnocování jílových částic sedimentačními metodami a podhodnocování těchto částic metodou laserové difrakce. Otázkou je, kde se v oblasti mezi křivkami zmíněných metod nachází skutečný obsah jílových částic [4].

Křivky této metody se protínají s oběma křivkami sedimentačních metod v oblasti mezi 0,06 až 0,22 mm. Procentuální zastoupení v těchto krajních hodnotách je 20 a 76 %. V prvním případě se dle USDA jedná o vzorek H3A s označením hlinitý písek a v druhém o vzorek H1A s označením hlína.

Současně byly další osobou provedeny analýzy totožných vzorků ze sady S a to za stejně nastavených podmínek. Ve výsledku byly nové křivky zrnitosti v mnoha případech odlišné. Tento jev je pravděpodobně způsoben technikou odběru. Stojí za zvážení, zda aplikaci malého množství zeminy neprovádět jiným způsobem, aby tato chyba vznikající z individuální činnosti byla co nejvíce eliminována. Nabízí se například rozetření celého obsahu plastové zkumavky v Petriho misce a vytvoření co nejvíce homogenní husté pasty, která bude aplikována malou špachtlí a nikoli pipetou, u které může dojít k ucpání otvoru většími zrnky.

Dalším aspektem pro správné vyhodnocení je nalezení vhodných opravných rovnic, které budou definovat závislost mezi klasickými sedimentačními zkouškami a laserovou difrakcí. Tato nová metoda je v oblasti analýzy zemín stále dostatečně neprozkoumaná, ale má velký potenciál a je nutné jí v budoucnu věnovat velkou pozornost.

17 ZÁVĚR

Diplomová práce pojednává o textuře neboli zrnitostním složení zemin. Zrnitostní složení má svou jasnou významnost, jelikož jde o jednu z nejdůležitějších fyzikálních vlastností, která ovlivňuje chování zemin v největší míře.

První část práce byla zaměřena na teoretickou stránku studované oblasti a byly v ní shrnuty skutečnosti týkající se vzniku zemin, jejich vlastností, následně byla popsána samotná zrnitost zemin, grafické vyjádření zrnitosti a klasifikační systémy používané ve světě i v České republice. Hlavním oddílem teoretické částí byl popis používaných i méně běžných metod, přičemž byla vysvětlena jejich podstata, vhodnost použití, stručný postup a možnost vyhodnocení.

Druhá část diplomové práce byla věnována analýze zrnitostního složení vzorků jemnozeme. Byla představena lokace, způsob odběru vzorků a také klimatické, geologické a pedologické poměry v zájmových oblastech v blízkosti rybníků. Jednou z hlavních podstat práce byla příprava vzorků a následné provedení a vyhodnocení síťového rozboru, hustoměrné metody, pipetovací metody a metody laserové difrakce na dvanácti vzorcích. O náročnosti a problematice jednotlivých metod bylo diskutováno, v některých případech byly navrženy změny pro zpřesnění a eliminaci možných chyb zapříčiněných individuálním vlivem zkoušejícího.

Výsledky provedených měření byly vyjádřeny zrnitostními křivkami, které byly v případě sedimentačních metod vzájemně velmi podobné, což dodalo výsledkům věrohodnost. Grafické vyjádření síťového rozboru bylo dle očekávání situováno oproti sedimentačním zkouškám značně doprava. To demonstruje přítomnost částic větších průměrů. Tento jev byl zapříčiněn nerozpojenými agregáty, tedy nevhodnou úpravou vzorku před začátkem analýzy nebo nevhodně zvoleným suchým způsobem provedení zkoušky. Zrnitostní křivky vyhotovené na základě velkého množství dat získaného z laserové difrakce u druhé sady vzorků označené H často nekopírovaly průběh grafického vyjádření sedimentačních metod. Tento rozdíl není u první sady vzorků S tak výrazný. Obsah jílových částic byl v grafech u vzorků S i H značně podhodnocen. Tento rozdíl mezi křivkami sedimentačních metod a metodou laserové difrakce může být způsoben i typickým nadhodnocováním jílových částic sedimentačními metodami. Grafická vyjádření zrnitosti provedených laserových difrakcí dosáhla u všech vzorků maxima v oblasti průměru částic 0,311 až 0,628 mm, a to i přesto, že měl vzorek obsahovat částice do 2 mm. Tento fakt mohl nastat z důvodu nevhodné aplikace vzorku do dispergační jednotky laserového difraktometru nebo účinkem ultrazvuku, jež mohl rozpojit i stabilní zemní agregáty. Dle křivek zrnitosti získaných ze sedimentačních metod a metody laserové difrakce došlo k zařazení vzorků podle klasifikačního systému USDA, Kopeckého a Nováka.

Určené půdní druhy přímo odráží zrnitostní křivky napříč metodami, to znamená, že půdní druh sedimentačních metod je ve většině případů stejný nebo velice blízký. V případě laserové difrakce, především pak druhé sady vzorků H, byl půdní druh mnohdy odlišný.

Při porovnání půdních druhů, klasifikovaných podle nejpoužívanějšího systému USDA, zjištěných na základě jednotlivých sedimentačních metod došlo v případě vzorků S ke shodě v 50 %, naproti tomu v případě vzorků H byla shoda 100 %. Shoda půdních druhů určených na základě dat získaných z hustoměrné metody a laserové difrakce byla u vzorků S ve 44 % a u vzorku H byl totožně určen pouze jeden půdní druh. Ke shodě mezi půdními druhy stanovenými z výsledků pipetovací metody a metody laserové difrakce došlo u vzorků S v 22 % a pouze v jednom případě byl půdní druh určen stejně u vzorku H.

Různě klasifikované půdní druhy mohou být následkem rozdílného přístupu měření použitých metod. Jestliže oblast zrnitostní křivky pro částice do velikosti 0,05 mm byla situována výrazně pod křivkami sedimentačních metod, výsledný půdní druh bude odrážet nižší obsah těchto částic a z tohoto důvodu bude klasifikován jako hrubozrnější. K tomu dojde i přes fakt, že křivky metody laserové difrakce nabývají maxima mnohem dříve než křivky sedimentačních metod, to ovšem nehraje velkou roli při klasifikaci, jelikož jsou křivky oproti křivkám sedimentačních metod strmější až v oblasti písku, jež je definován v intervalu 0,05 – 2,0 mm.

Vyhodnocení na základě půdních druhů je poněkud zavádějící, jelikož body popisující výsledky použitých metod byly v mnoha případech v klasifikačních trojúhelnících systému USDA vykresleny na hranicích mezi jednotlivými půdními druhy. Objektivnější by bylo sledovat vzájemné rozložení těchto bodů v klasifikačních trojúhelnících v kapitole 16.

Přesnost metody laserové difrakce je v oblasti jílových částic velice dobrá, ale v případě zemín s vyšším obsahem hrubších částic může být nižší. Z tohoto důvodu by se mohlo pro zpřesnění výsledků nabízet použití opravných rovnic definovaných pro jednotlivé frakce.

Jelikož je zrnitostní rozbor stále důležitou součástí popisu zemního prostředí je vhodné, aby oblast jeho zjišťování byla stále rozvíjena. Staré sedimentační metody jsou účinné, ale velmi časově náročné a pracné, jak po stránce přípravy, provedení tak i vyhodnocení, současně z nich není získáno větší množství dat. Nový přístup pro určování velikosti zemních částic pomocí metody laserové difrakce je velmi žádoucí a v poslední době čím dál častěji využíván.

Pro případné rozšíření práce by bylo ideální porovnání většího množství vzorků s obsahem různých frakcí, jelikož vzorky studované v této práci byly většinou shledány jako písčitohlinité nebo hlinitopísčité. Současně je technologie určování zrnitosti zemín pomocí laserové difrakce stále na začátku a bylo by vhodné pokračovat v detailním studiu funkčnosti a přesnosti metody.

Další zajímavým rozšířením práce by mohlo být provedení měření zrnitosti vzorků odebraných v totožných lokacích po delším časovém období za účelem pozorování změn zrnitostního složení jemnozeme a vlivu eroze.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BIEGANOWSKI, Andrzej; RYŽAK, Magdalena; SOCHAN, Agata; BARNA, Gyöngyi; HERNÁDI, Hilda et al. Laser Diffractometry in the Measurements of Soil and Sediment Particle Size Distribution. Online. *Advances in Agronomy*. Advances in Agronomy. 2018, roč. 2018, č. 151, s. 215-279. ISBN 9780128151730. ISSN 0065-2113. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.04.003>. [cit. 2024-01-08].
- [2] SVENSSON, David Nimblad; MESSING, Ingmar a BARRON, Jennie. An investigation in laser diffraction soil particle size distribution analysis to obtain compatible results with sieve and pipette method. Online. *Soil and Tillage Research*. 2022, roč. 2022, č. vol. 223, s. 1-11. ISSN 01671987. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105450>. [cit. 2024-01-08].
- [3] DI STEFANO, C.; FERRO, V. a MIRABILE, S. Comparison between grain-size analyses using laser diffraction and sedimentation methods. Online. *Biosystems Engineering*. 2010, roč. 106, č. 2, s. 205-215. ISSN 15375110. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.03.013>. [cit. 2024-01-08].
- [4] Evaluation of the USDA soil texture triangle through Atterberg limits and an alternative classification system. Online. *Applied Clay Science*. 2023, roč. 2023, č. 229, s. 1-10. ISSN 0169-1317. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131722002848>. [cit. 2024-01-02].
- [5] PAVLŮ, Lenka. *Základy pedologie a ochrany půdy*. Online. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2018. ISBN 978-80-213-2876-1. Dostupné z: https://katedry.czu.cz/storage/4833_Zaklady-pedologie-a-ochrany-pudy.pdf. [cit. 2023-12-18].
- [6] NOVÁK, Milan. *Vliv používání nákladního automobilu v zemědělství na půdní prostředí*. Diplomová práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, 2017.
- [7] MÁČKA, Zdeněk. *Přednášky o půdě*. Online. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/jaro2012/Z0086/um/31835052/Lekce1.pdf>. [cit. 2024-01-08].
- [8] ŠIMEK, Jiří; JESENÁK, Ján; EICHLER, Jaroslav a VANÍČEK, Ivan. *Mechanika zemin*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00428-4.
- [9] MYSLIVEC, Alois; JESENÁK, Ján a EICHLER, Jaroslav. *Mechanika zemin*. Praha: SNTL, 1970.
- [10] WEIGLOVÁ, Kamila. *Mechanika zemin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-7204-507-5.
- [11] WEIGLOVÁ, Kamila; GLISNÍKOVÁ, Věra a MASOPUST, Jan. *Mechanika zemin a zakládání staveb: pro kombinované studium*. Brno: CERM, 2003. ISBN 80-214-2376-5.
- [12] VUT FAST V BRNĚ, ÚSTAV GEOTECHNIKY. *Laboratorní cvičení 1: Fyzikálně indexové vlastnosti zemin*. Online. Dostupné z: https://geotech.fce.vutbr.cz/wp-content/uploads/sites/17/2018/09/pod7_8c.pdf. [cit. 2024-01-03].
- [13] VALIŠ, Stanislav a ŠÁLEK, Jan. *Hydropedologické praktikum*. Praha: SNTL, 1967.

- [14] KOŘÍNEK, Robert. *Mechanika hornin a zemin. podklady k přednáškám*. Online. Dostupné z: <https://geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/MHZ-02.pdf>. [cit. 2024-01-03].
- [15] ZOUBKOVÁ, Lenka. *Návody k laboratorním cvičením z pedologie*. Online. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-842-2. Dostupné z: http://envimod.fzp.ujep.cz/sites/default/files/skripta/22e_final_tisk.pdf. [cit. 2024-01-02].
- [16] BAJER, Aleš a LISÁ, Lenka. *Metodika odběrů a zpracování vzorků pro geoarcheologický výzkum. Výzkum sedimentárního záznamu. Certifikovaná metodika*. Online. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Masarykova univerzita, 2316. Dostupné z: https://invenio.nusl.cz/record/263518/files/nusl-263518_1.pdf. [cit. 2024-01-08].
- [17] ČSN EN ISO 14688-2, *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařídování zemin – Část 2: Zásady pro zařídování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [18] VALIŠ, Stanislav a ŠÁLEK, Jan. *Hydropedologické praktikum*. 3. přeprac. vyd. Brno: VUT, 1976.
- [19] *Půdoznalství - laboratorní cvičení*. Online. In: . 2024. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=5493&typ=html. [cit. 2024-01-02].
- [20] *Pedologické šetření pro návrh koupacího jezírka v k.ú. Olešná u Blanska*. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2023.
- [21] MOHAN, M Madhan a PRASADINI REGIONAL, Prabhu. *Manual on Practical Soil Physics*. Regional Agricultural Research Station, Tirupati Acharya NG Ranga Agricultural University, 2019. ISBN 978-93-5407-060-0.
- [22] *FAO/UNESCO legend of the Soil Map of the World*. Online. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Dostupné z: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/fao-legend/en>. [cit. 2024-01-02].
- [23] MURANO, Hirotatsu; TAKATA, Yusuke a ISOI, Toshiyuki. Origin of the soil texture classification system used in Japan. Online. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2015, roč. 61, č. 4, s. 688-697. ISSN 0038-0768. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00380768.2014.998594>. [cit. 2024-01-02].
- [24] HEŠTERA, Hrvoje; PAHERNIK, Mladen; KOVAČEVIĆ ZELIĆ, Biljana a MAURIĆ MALJKOVIĆ, Maja. Kartiranje Tala Panonskog Dijela Hrvatske Prema Unified Soil Classification System Upotrebom Multinomne Logističke Regresije I Interpolacije Inverzijom Udaljenosti. Online. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. 2023, roč. 38, č. 3, s. 147-159. ISSN 18490409. Dostupné z: <https://doi.org/10.17794/rgn.2023.3.12>. [cit. 2024-01-08].
- [24] *California Department of Transportation, Unified Soil Classification System*. Online. Dostupné z: <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/maintenance/documents/office-of-concrete-pavement/pavement-foundations/uscs-all.pdf>. [cit. 2024-01-03].

- [25] *Step-by-Step Guide for Grain Size Analysis*. Online. Geotechnical.org. Dostupné z: <https://www.geotechnical.org/education/laboratory-testing/step-by-step-guide-for-grain-size-analysis>. [cit. 2024-01-02].
- [26] WEIGLOVÁ, Kamila. *Mechanika zemin: cvičení*. Brno: CERM, 1998. ISBN 80-214-1146-5.
- [27] *Trojúhelníkový diagram*. Online. In: Ústav geotechniky, Fakulta stavební. Dostupné z: <https://geotech.fce.vutbr.cz/vyuka/bakalarske-studium/bf005-mechanika-hornin/podklady-do-cviceni/>. [cit. 2024-01-02].
- [28] *Diagram plasticity pro jemnozrnné zeminy*. Online. In: Ústav geotechniky, Fakulta stavební. Dostupné z: <https://geotech.fce.vutbr.cz/vyuka/bakalarske-studium/bf005-mechanika-hornin/podklady-do-cviceni/>. [cit. 2024-01-02].
- [29] ŠAMALÍKOVÁ, Milena. *Inženýrská geologie a hydrogeologie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996. ISBN 80-214-0623-2.
- [30] PAULI, Jiří a HOLOUŠKOVÁ, Taťána. *Mechanika hornin. Laboratorní zkoušky hornin*. Vyd. 3. přepracované. Praha: ČVUT, 1994. ISBN 8001011267.
- [31] ČSN EN ISO 17892-4, *Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 4: Stanovení zrnitosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [32] ZBÍRAL, Jiří; ČIŽMÁROVÁ, Eva; OBDRŽÁLKOVÁ, Elena; RYCHLÝ, Miloš; VILAMOVÁ, Vladimíra et al. *Analýza půd*. Vydání čtvrté, rozšířené a přepracované. Jednotné pracovní postupy. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2022. ISBN 978-807-4011-238.
- [33] MA, Shengnan; SONG, Yi; LIU, Jiawei; KANG, Xingyu a YUE, Zhongqi Quentin. Extended wet sieving method for determination of complete particle size distribution of general soils. Online. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2023, roč. 2023, s. 1-2. ISSN 16747755. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2023.03.006>. [cit. 2024-01-02].
- [34] *Cvičení z Hydropedologie a Pedologie, Laboratorní cvičení č.1, Stanovení čáry zrnitosti a měrné hmotnosti*. Online. Dostupné z: https://storm.fsv.cvut.cz/data/files/předměty/HYP/HYP_lab1.pdf. [cit. 2024-01-03].
- [35] QIU, Weiwen; HU, Wei; CURTIN, Denis a MOTOI, Lidia. Soil particle size range correction for improved calibration relationship between the laser-diffraction method and sieve-pipette method. Online. *Pedosphere*. 2021, roč. 31, č. 1, s. 134-144. ISSN 10020160. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60055-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60055-8). [cit. 2024-01-02].
- [36] KADLČÁK, Jiří. *Obrazová analýza a současné metody granulometrie: Rešeršní část k diplomové práci*. Diplomová práce. Brno: Masarykova univerzita, 2014.
- [37] *[Scheme of Particle Size Analyzer Analysette 22 NeXT]*. Online. In: Laval Lab. Dostupné z: <https://lavallab.com/products/particle-size-analyzers/nano-particle-sizer/#>. [cit. 2024-01-02].

- [38] ŠINKOVIČOVÁ, Miroslava. Soil Particle Size Analysis by Laser Diffraction: Result Comparison with Pipette Method. Online. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2017, roč. 2017, č. 245, s. 1-13. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/7/072025>. [cit. 2024-01-03].
- [39] *[Princip matematických modelů Fraunhofer a Mie]*. Online. In: Pharmaceutical Networking. 2016. Dostupné z: <https://www.pharmaceutical-networking.com/laser-diffraction/>. [cit. 2024-01-04].
- [40] MAPY.CZ. Svratouch a Herálec. Online. Seznam.cz, 2024. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.0220321&y=49.7112036&z=13>, [citováno 2024-01-08]
- [41] MAPY.CZ. Rybních Cochol. Online. Seznam.cz, 2024. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka?x=16.0474594&y=49.7301467&z=16>, [citováno 2024-01-08]
- [42] MAPY.CZ. Bahnitý rybník. Online. Seznam.cz, 2024. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka?x=16.0045548&y=49.6874049&z=16>, [citováno 2024-01-08]
- [43] ČESKÝ HYDROMETEROLOGICKÝ ÚSTAV. *Mapy charakteristik klimatu*. Online. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu>. [cit. 2024-01-08].
- [44] MORAVSKO-KARPATY.CZ. *Klasifikace klimatu*. Online. 2018. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/klima/klasifikace-klimatu/>. [cit. 2024-01-08].
- [45] ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Geovědní mapa 1:50 000*. Online. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>. [cit. 2024-01-03].
- [46] ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Půdní mapa 1:50 000*. Online. 2012. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/pudy/>. [cit. 2024-01-03].
- [47] VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY. *EKatalog BPEJ*. Online. 2018. Dostupné z: <https://bpej.vumop.cz/>. [cit. 2024-01-03].
- [48] VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY. *Komplexní průzkum půd*. Online. 2024. Dostupné z: <https://kpp.vumop.cz/?core=app&zoom=8&er=-632535.4091531632,-1097076.7265531241>. [cit. 2024-01-03].
- [49] VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY. *Komplexní průzkum půd*. Online. 2024. Dostupné z: <https://kpp.vumop.cz/?core=app&zoom=8&er=-635952.0571743351,-1101555.1808695223>. [cit. 2024-01-03].
- [50] FRITSCH. *Laser Particle Sizer ANALYSETTE 22 NeXT Nano*. Online. Dostupné z: https://www.fritsch-international.com/particle-sizing/static-light-scattering/details/product/laser-particle-sizer-analysette-22-next-nano/technical-details/?gclid=CjwKCAiAvdCrBhBREiwAX6-6Un4vhW9hLY67Md0FjuqPV8a7Ww7_H5BtNDChA3im94yJfiQRG6bs9BoCp1IQAvD_BwE. [cit. 2024-01-08].
- [51] NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. *Multi-Point Texture Triangle Excel Version*. Online. Dostupné z: <https://www.nrcs.usda.gov/resources/education-and-teaching-materials/soil-texture-calculator>. [cit. 2024-01-08].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Klasifikační diagram systému podle Kopeckého	20
Obr. 2 Klasifikační trojúhelník systému USDA	22
Obr. 3 Srovnání rozdělení dle velikostí částic klasifikačních systémů USDA a FAO	23
Obr. 4 Pravidla zatřídění a diagram plasticity podle klasifikačního systému USCS	24
Obr. 5 Diagram plasticity pro klasifikaci podle ČSN EN 14788-2	27
Obr. 6 Trojúhelníkový diagram pro klasifikaci zemin podle ČSN 73 1001	28
Obr. 7 Diagram plasticity pro jemnozrné zeminy	29
Obr. 8 Postup při prosévání	32
Obr. 9 Postup při kombinaci prosévání a hustoměrné metody	37
Obr. 10 Postup při kombinaci prosévání a pipetovací metody	40
Obr. 11 Schéma principu laserového difraktometru	41
Obr. 12 Teorie Fraunhofer a Mie používané pro vyhodnocení metody laserové difrakce	42
Obr. 13 Lokality odběrů vzorků	44
Obr. 14 Místa odběru vzorků S	44
Obr. 15 Místa odběru vzorků H	44
Obr. 16 Geologický profil sond první sady vzorků S	45
Obr. 17 Geologický profil sond druhé sady vzorků H	45
Obr. 18 Sondy z KPP v oblasti rybníka Chochol	47
Obr. 19 Geologické profily sond z KPP v oblasti rybníka Chochol	47
Obr. 20 Sonda z KPP v oblasti Bahnitého rybníka	48
Obr. 21 Geologický profil sondy z KPP v oblasti Bahnitého rybníka	48
Obr. 22 Rozmělnění agregátů v třecí misce	49
Obr. 23 Mechanická prosévačka s připraveným vzorkem	52
Obr. 24 Vzorek zeminy separován síty o velikosti oka 1, 0,5 a 0,25 mm	53
Obr. 25 Vzorek zeminy separován síty o velikosti oka 0,125, 0,063 a podsítný zbytek	53
Obr. 26 Grafické vyjádření zrnitosti pro jednotlivé vrstvy pomocí síťového rozboru	54
Obr. 27 Vzorky zeminy ošetřené dispergačním činidlem a uložené do třepačky	56
Obr. 28 Průběh hustoměrné zkoušky	57
Obr. 29 Grafické vyjádření zrnitosti pro jednotlivé vrstvy vyhodnocené početně pomocí hustoměrné metody	58
Obr. 30 Srovnání grafických vyjádření zrnitosti pro jednotlivé vrstvy vyhodnocených početně a monogramem pro hustoměrnou metodu	61
Obr. 31 Vzorky ošetřené dispergačními činidly	64
Obr. 32 Odměrné válce se suspenzí připravené k analýze	65
Obr. 33 Průběh měření při hustoměrné metodě	65
Obr. 34 Grafické vyjádření zrnitosti pro jednotlivé vrstvy vyhodnocené pomocí pipetovací metody	67
Obr. 35 Laserový difraktometr v pedologické laboratoři ústavu VHK	68
Obr. 36 Rozdíl v barvě roztoku mezi vzorkem z omiční a podorniční vrstvy po aplikaci KOH	69
Obr. 37 Vzorky uložené do centrifugy	69
Obr. 38 Aplikace vzorku do dispergační jednotky laserového difraktometru	70
Obr. 39 Grafické vyjádření zrnitosti pro jednotlivé vrstvy vyhodnocené pomocí laserové difrakce	71
Obr. 40 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku S1A vyhodnocené všemi metodami	73
Obr. 41 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek S1A	74
Obr. 42 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku S1B vyhodnocené všemi metodami	75

Obr. 43 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek S1B	76
Obr. 44 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku S2A vyhodnocené všemi metodami	77
Obr. 45 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek S2A	78
Obr. 46 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku S2B vyhodnocené všemi metodami	79
Obr. 47 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek S2B	80
Obr. 48 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku S3A vyhodnocené všemi metodami	81
Obr. 49 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek S3A	82
Obr. 50 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku S3B vyhodnocené všemi metodami	83
Obr. 51 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek S3B	84
Obr. 52 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku H1A vyhodnocené všemi metodami	85
Obr. 53 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek H1A	86
Obr. 54 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku H1B vyhodnocené všemi metodami	87
Obr. 55 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek H1B	88
Obr. 56 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku H2A vyhodnocené všemi metodami	89
Obr. 57 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek H2A	90
Obr. 58 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku H2B vyhodnocené všemi metodami	91
Obr. 59 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek H2B	92
Obr. 60 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku H3A vyhodnocené všemi metodami	93
Obr. 61 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek H3A	94
Obr. 62 Grafické vyjádření zrnitosti vzorku H3B vyhodnocené všemi metodami	95
Obr. 63 Klasifikační trojúhelník USDA pro vzorek H3B	96

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Orientační hodnoty měrné hmotnosti zemin	16
Tab. 2	Charakteristika tvaru zrnitostní křivky dle čísla nestejnzrnitosti a křivosti	18
Tab. 3	Klasifikační systém jemnozeme podle Kopeckého	20
Tab. 4	Sedimentační rychlost klasifikačních kategorií podle Kopeckého	20
Tab. 5	Klasifikace dle obsahu částic jemnozeme podle Nováka	21
Tab. 6	Pojmenování zemin při obsahu štěrkové a kamenité frakce podle Nováka	21
Tab. 7	Rozdělení dle velikosti částic podle klasifikačního systému USDA	22
Tab. 8	Zatřídění dle velikosti částic podle klasifikačního systému USCS	25
Tab. 9	Zásady klasifikace zemin podle ČSN EN 14688-2	26
Tab. 10	Rozdělení dle velikosti částic podle ČSN 73 1001	28
Tab. 11	Základní názvy a symboly zemin podle ČSN 73 1001	28
Tab. 12	Dynamická viskozita vody	35
Tab. 13	Obsah částic menších než 0,01 mm v orniční vrstvě sond SS z KPP	47
Tab. 14	Obsah částic menších než 0,01 mm v orniční vrstvě sondy HS1 z KPP	48
Tab. 15	Výpočet měrné hmotnosti vzorků zeminy	51
Tab. 16	Vyhodnocení vzorků pomocí zrnitostního rozboru	54
Tab. 17	Kombinace odměrných válců a hustoměru, jejich parametrů a hodnoty opravných koeficientů	56
Tab. 18	Data získaná v průběhu hustoměrné metody	57
Tab. 19	Čas, teplota a opravné teplotní koeficienty hustoměrné metody	58
Tab. 20	Analytické vyhodnocení sady vzorků s označením S při hustoměrné metodě	59
Tab. 21	Analytické vyhodnocení sady vzorků s označením H při hustoměrné metodě	60
Tab. 22	Vyhodnocení vzorků s označením S pomocí monogramu při hustoměrné metodě	62
Tab. 23	Vyhodnocení vzorků s označením H pomocí monogramu při hustoměrné metodě	63
Tab. 24	Vstupní informace pro průběh pipetovací metody	66
Tab. 25	Vyhodnocení pipetovací metody	67
Tab. 26	Přehled půdních druhů vzorku S1A	73
Tab. 27	Přehled půdních druhů vzorku S1B	75
Tab. 28	Přehled půdních druhů vzorku S2A	77
Tab. 29	Přehled půdních druhů vzorku S2B	79
Tab. 30	Přehled půdních druhů vzorku S3A	81
Tab. 31	Přehled půdních druhů vzorku S3B	83
Tab. 32	Přehled půdních druhů vzorku H1A	85
Tab. 33	Přehled půdních druhů vzorku H1B	87
Tab. 34	Přehled půdních druhů vzorku H2A	89
Tab. 35	Přehled půdních druhů vzorku H2B	91
Tab. 36	Přehled půdních druhů vzorku H3A	93
Tab. 37	Přehled půdních druhů vzorku H3B	95