

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 – Zemědělství
Studijní obor: Zemědělská technika: obchod, servis a služby
Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky
Vedoucí katedry: Ing. Luboš Smutný, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Experimentální měření fyzikálních parametrů půdy
na vybraném pozemku

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Tomáš Zoubek
Autor bakalářské práce: Tomáš Baloun

České Budějovice, 2020

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tomáš BALOUN**
Osobní číslo: **Z17466**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **ZDTb-16 – specializace Zemědělská technika**
Téma práce: **Experimentální měření fyzikálních parametrů půdy na vybraném pozemku**
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky**

Zásady pro vypracování

Student bude v rámci své bakalářské práce provádět experimentální měření fyzikálních parametrů půdy na vybraném pozemku. Zaměří se především na měření penetrometrického odporu na pozemku a na laboratorní vyhodnocení odebraných půdních vzorků, kterými bude zjišťovat především zrnitostní rozbor, měrnou hmotnost a pórovitost dané půdy. Měření bude prováděno na soukromém pozemku patřící rodinné farmě.

Cílem této práce je vybrat vhodné experimentální metody k získání parametrů půdy, které se mohou následně využít jako vstupní data při počítačových simulacích zaměřených na utužení půdy po přejezdu zemědělské techniky, a popsat jejich provedení.

V teoretické části práce student shrme dosavadní poznatky v dané problematice.

V praktické části práce by měl student:

- vybrat vhodné experimentální metody k získání parametrů půdy, které se mohou následně využít jako vstupní data při počítačových simulacích zaměřených na utužení půdy po přejezdu zemědělské techniky,
- detailně popsat tyto vybrané experimentální metody,
- představit experimentálně naměřené parametry půdy vybrané rodinné farmy.

Rozsah pracovní zprávy: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Hůla J. a kol.: Minimalizace zpracování půdy. Profi press, Praha 2008, 248 s. ISBN 978-80-86726-28-1

Lukas, V., Neudert, L., Křen, J.: Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství, Mendelova univerzita v Brně, Brno, 2011, Metodika pro praxi, 34 s., ISBN 978-80-7375-562-1

Němeček J. a kol.: Pedologie a paleopedologie, Academia/ČSAV, Praha 1990, 552 s.

Šimek M.: Základy nauky o půdě – 1. Neživé složky půdy, Biologická fakulta JU, České Budějovice, 2005, 160s. ISBN 80-7040-747-6

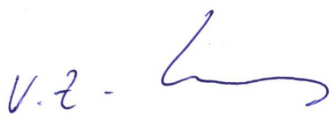
Zoubková, L.: Návod k laboratornímu cvičení z pedologie. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem, 2014, 76 s., ISBN 978-80-7414-842-2.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Tomáš Zoubek**
Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. února 2019**


Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2020**

V Českých Budějovicích dne 25. března 2019



prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA ⁴³
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Blatenská 1868, 370 08 České Budějovice
L.S.



doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

.....

Datum

.....

Podpis

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá půdou jako takovou, jejími vlastnostmi se zaměřením na fyzikální parametry půdy a vyhodnocením experimentálně získaných výsledků měření. Vzorky byly odebírány z pozemku rodinné farmy, která na něm hospodáří. Náplní práce bylo zpracování vzorků a zvolení vhodných metod k získání takových parametrů půdy, které lze následně využít jako vstupní data pro počítačové simulace zaměřené na utužení půdy po přejezdech zemědělské techniky.

Klíčová slova: půda, pedologie, fyzikální vlastnosti, experimentální metody

Abstract

The bachelor thesis deals with soil as such, its properties with a focus on physical soil parameters and evaluation of experimentally obtained measurement results. Samples were taken from the farm's family farm. The scope of the work was processing of samples and selection of suitable methods to obtain such soil parameters, which can be subsequently used as input data for computer simulations focused on soil compaction after crossings of agricultural machinery.

Keywords: soil, pedology, physical parameters, experimental methods

Obsah

Úvod.....	8
1 Rešerše literatury.....	9
1.1 Půda	9
1.2 Půdní charakteristiky	9
1.2.1 Obecné rysy a složky půdy	9
1.2.2 Kvalita půdy	11
1.2.3 Fyzikální vlastnosti půdy	12
1.2.4 Textura – zrnitostní skladba půdy	14
1.2.5 Struktura půdy	16
1.2.6 Pórovitost	17
1.2.7 Měrná hmotnost	18
1.2.8 Objemová hmotnost	19
1.2.9 Barva	20
1.3 Půdy v ČR.....	21
1.4 Hlavní a nejrozšířenější půdní typy	23
2 Cíle práce	26
3 Metodika	27
3.1 Odběr vzorků v terénu	27
3.2 Rozbor neporušeného válečku.....	30
3.3 Objemová (volumová) hmotnost půdy	33
3.4 Stanovení měrné hmotnosti půdy	34
3.5 Pórovitost půdy.....	35
3.6 Zrnitostní rozbor.....	37
4 Objekt měření.....	43
4.1 Charakteristika BPEJ 4.26.11	46
4.2 Charakteristika BPEJ 4.45.11	46

4.3	Charakteristika BPEJ 4.15.00.....	47
4.4	Charakteristika BPEJ 5.58.00.....	48
4.5	Komplexní průzkum půd v roce 1970.....	48
5	Výsledky a jejich hodnocení.....	50
5.1	Objemová hmotnost.....	55
5.2	Měrná hmotnost půdy.....	56
5.3	Pórovitost.....	57
5.4	Zrnitostní rozbor.....	60
6	Diskuse.....	65
	Závěr.....	67

Úvod

Tato bakalářská práce vychází z pedologických postupů při zkoumání půdy, jejím úkolem je zjišťování a porovnávání nových poznatků v této problematice a v neposlední řadě je také názornou ukázkou využití vybraných metod v praxi vedoucích k získání experimentálních dat.

Pedologie je vědním oborem, který zkoumá půdu a její vlastnosti. Nauka o půdě je celosvětově rozsáhlou a potřebnou vědní disciplínou. V rámci zemědělské prvovýroby a souvisejících potravinářských oborů nám poskytuje důležitá data o půdě a jejím rozmístění na zemském povrchu, která jsou zcela zásadní pro kvalitní a udržitelnou produkci potravin. V rámci výzkumu půd lze stanovit historický vývoj dané lokality, hodnotit současnou činnost a nakládání s touto půdou a do jisté míry lze také předpokládat její budoucí vývoj.

Důležitou součástí práce je shrnutí dané problematiky prostřednictvím literární rešerše a zároveň získání experimentálních dat při měření vybraných fyzikálních parametrů půdy, která analyzují stav experimentálního pozemku a zároveň mohou sloužit jako vstupní data pro počítačové modelování zaměřené na utužení půdy po přejezdech zemědělské techniky. Cílem této práce je vybrat metody pro získání těchto dat, představit tyto metody čtenářům této práce, objektivně popsat jejich provedení a dále také představit výsledky získané experimentálním měřením, a to včetně jejich vyhodnocení.

1 Rešerše literatury

1.1 Půda

Půda charakterizuje krajinu a je zcela zásadní složkou při jejím zemědělském využívání pro výrobu potravin, produkci krmiv, ale i surovin pro jiné využití. Velmi důležité je při nakládání s půdou dbát na její ekologické funkce, krajinné začlenění a na kvalitativní udržení půdy v úrodném stavu.

Půda je dynamický přírodní útvar, který se skládá ze živých organismů, minerálního a organického materiálu, ze kterého rostou rostliny. Podle některé definice půdu charakterizuje její jemná strukturovanost a pórovitost, která je organického a minerálního složení. Na půdu má vliv kromě přírodních faktorů také působení člověka, a to zcela zásadní. Hospodaření člověka zpravidla působí v čase rychleji a částečně nezávisle na ostatních faktorech.

Půdu lze chápat jako objekt k výzkumu. Věda zabývající se půdou se souhrnně nazývá pedologie. V rámci pedologie se provádí popis půd, zkoumají se různé její vlastnosti a zároveň se tato věda zabývá jednotlivými procesy, které v půdě probíhají. Půda se dynamicky mění, takže její pouhý popis nestačí. Pedologie se zabývá vznikem půd – označujeme ji jako pedogeneze. Rozmístěním jednotlivých půd na povrchu země se zabývá pedografie (Hůla a kol., 1997; Smolík, 1957; Šimek, 2005).

1.2 Půdní charakteristiky

1.2.1 Obecné rysy a složky půdy

Skalní podkladovou vrstvu tvoří mateční hornina. Na této vrstvě se zpravidla nachází neuspořádaná vrstva materiálu, kterou nazýváme regolit. Za vznikem této vrstvy stojí buď zvětrávání podkladové vrstvy – matečné horniny, nebo transport jejích částí odjinud, například větrem, deštěm, ledovcem apod.

Provedeme-li regolitem řez, odryje se nám půda v celém tzv. půdním profilu a zobrazí se nám jednotlivé vrstvy. Tyto vrstvy bývají často barevně odlišené a nazýváme je půdní horizonty. Takové jednotlivé půdní horizonty v rámci průzkumu

půd lze spatřit například při vykopání půdní sondy, viz obrázek č. 1.



Obrázek č. 1 - Ukázka půdní sondy; © Tomáš Chuman, 2015

Na základě těchto horizontů se půdy rozdělují do jednotlivých klasifikačních tříd. Pokud se jedná o obdělávané půdy, rozlišujeme v půdním profilu orníční vrstvu, což bývá svrchně kypřená vrstva asi 20 až 30 cm. Pod touto vrstvou se nachází podorníčí neboli spodina.

Jednou z unikátních složek půdy jsou půdní organismy. Jsou tou nejrozmanitější částí a jsou právě tou jedinou složkou, která z půdy vytváří jedinečné prostředí umožňující růst a vývoj rostlin. Bez půdních organismů by byla půda jen neživým substrátem. Půdní organismy zahrnují různé formy, od virů a bakterií, přes sinice, řasy, prvoky a nižší živočichy až po drobnější obratlovce.

Typické minerální složení půdy zahrnují polovinou až dvěma třetinami objemu pevné částice, z toho 45% minerální a 5% organické, a polovinou až jednou třetinou póry, které jsou asi z poloviny zaplněny vodou a z poloviny vzduchem (Šimek, 2005).

1.2.2 Kvalita půdy

Označit půdu za kvalitní nelze jednoznačně, jelikož půda musí plnit více funkcí a lze na ni nahlížet z více hledisek. Mezi hlavní hlediska patří význam ekologický, zemědělský a socioekonomický. Na půdu lze také pohlížet jako na významný činitel při koloběhu vody a zadržování jednotlivých složek, tj. její pufrací schopnost. Jako indikátory kvality půdy lze označit více vlastností, než jen ty agrochemické a produkční, ale mnoho jiných. Pro naši společnost je půda důležitá také jako zdroj stavebních materiálů, poskytuje nám prostor k životu, umožňuje nám realizaci staveb a slouží k rekreaci člověka. Mimo jiné nám půda slouží také jako objekt ke zkoumání historie a uchovává cenné informace, které jsou cílem archeologických průzkumů. Půda je také obrovskou genetickou bankou mikroorganismů, je nenahraditelná pro zachování stability ekosystémů a ovlivňuje bilanci látek a energií. Povědomí o funkci těchto půdních mikroorganismů není ve společnosti příliš rozšířeno, přestože jsou tyto funkce zcela zásadní v interakci s cyklem vody, uhlíku, dusíku, síry a fosforu v půdě. Mikroorganismy se podílejí na přístupnosti těchto prvků, které jsou ovlivňovány mikrobiální mineralizací a imobilizací. V této souvislosti se půdní mikroorganismy přímo podílejí na stavu životního prostředí a udržitelného života.

Pro určení kvality půdy je zapotřebí dát do souvislostí jisté aspekty, a to z několika hledisek. Z hlediska trvale udržitelné zemědělské produkce je zmiňována hlavně o rostlinné produkci jako takové a o odolnosti půdy k erozi. Z hlediska kvalitního životního prostředí je sledována převážně kvalita podzemní vody, povrchové vody a ovzduší. V neposlední řadě je důležité zmínit hledisko ovlivnění zdraví člověka a živočichů, kde jsou nejdiskutovanějšími pojmy nutriční hodnota krmiv a potravin a jejich zdravotní nezávadnost (Planeta, 2004).

Z pohledu ekosystémů je půda zásobárnou živin a je středem interakce mezi živými a neživými složkami. Kromě neživé složky minerální je zapotřebí si uvědomovat i složku organickou. Tu lze demonstrovat na faktu, že v kávové lžičce půdy může být 1,5násobně více organismů, než čítá lidská populace na světě. Proces vytváření pouhého jednoho centimetru půdy se odehrává i 400 let.

Co se týče pojmu kvalita půdy, se v našich podmínkách často uvažuje úrodnost půdy. Se stále sofistikovanějším přístupem k půdě se setkáváme s pojmy jako produkční potenciál a produktivita půdy. Tyto pojmy se váží k vlastním vlastnostem půdy ve vazbě na rostoucí rostliny v závislosti na podnebí a klimatických podmínkách. V souvislosti s touto produkční schopností při pěstební činnosti se setkáváme s pojmem únosná kapacita, což vyjadřuje množství rostlin na konkrétní ploše. Pokud chceme hovořit o kvalitní půdě, musíme mluvit o půdě zdravé. V odborné literatuře se často vyskytuje v rámci výzkumu pojem kvalitní půda, někteří odborníci ale preferují pojem zdravá půda, který na první pohled vyvolává lepší nastínění půdy jako živého a dynamického systému. Tento termín se také objevuje u producentů. Kvalitu půdy mohou příznivě ovlivnit pestré osevnické postupy spojené s optimální výživou rostlin, šetrný způsob hospodaření s ohledem na protierozní ochranu či zvýšená péče o organickou hmotu v půdě. Oproti tomu kvalitu půdy nepříznivě ovlivňují degradační procesy, což jsou eroze v kombinaci s utužením, acidifikace, vysoký obsah solí nebo ztráty živin a organické hmoty (Šarapatka a kol., 2002).

1.2.3 Fyzikální vlastnosti půdy

Půda se vyvíjela a vyvíjí z půdotvorných zvětralin na povrchu zemské kůry za působení dalších půdotvorných faktorů. Jednou ze specifických vlastností půdy je její úrodnost. Úrodností půdy se rozumí poskytovat rostlinám vhodné podmínky pro jejich růst a vývoj. Je to tedy komplexní dynamická vlastnost závisící na fyzikálních, chemických a biologických pochodech. Úrodnost půdy závisí na mnoha faktorech, jako například na druhu původní mateční horniny, stavu podzemní vody, využitelné hloubce půdy rostlinami, půdní struktuře, minerálním složení, půdní reakci, životu v půdě, schopnosti uvolňování živin, vododržnosti, infiltraci vody z povrchu, obsahu organické hmoty aj.

Půdu v zásadě tvoří tři fáze, a to fáze pevná, kapalná a plynná. Půdní voda a půdní vzduch, tedy kapalná a plynná fáze, jsou v půdě zastoupeny v pórech. V orné půdě

zcela převládá fáze pevná, jen ve zcela ojedinělých případech jako jsou povodně či neobvykle rozsáhlé přívalové deště, může převládat fáze kapalná.

Fyzikální vlastnosti půdy jsou značně dynamicky se vyvíjející, tj. při změně některého činitele se tento stav okamžitě projeví na změně dalších. Znalost fyzikálního stavu půdy úzce souvisí s technologií jejího zpracování, a tyto aspekty se vzájemně ovlivňují. Fyzikální vlastnosti půdy musí odpovídat požadavkům konkrétních pěstovaných plodin a značně ovlivňují výběr vhodné agrotechniky (Hůla a kol., 2007).

Mezi fyzikální charakteristiky půdy patří i fyzikálně – mechanické vlastnosti půdy. Takové vlastnosti souvisejí s mineralogií, pedologií, ale i stavebním inženýrstvím. Jedná se například o konzistenci zemin, kde se ve stavebnictví hledí na soudržnosti zemin a rozlišují se na kašovité, měkké, tuhé, pevné a tvrdé. V pedologii jsou tyto atributy charakterizovány jako vlastnosti půd včetně nesoudržných. Při stanovování technologické vhodnosti těchto půd ve stavebnictví nás zajímají fyzikální síly koheze a adheze.

Koheze neboli soudržnost je poutání částic půdy navzájem pomocí vnitřních sil. Jílovité půdy mají tyto síly velké, písčité naopak malé. Na kohezi působí i přítomný humus v půdě. U jílovitých půd vysoký podíl humusu kohezi snižuje, u písčítých zvyšuje. U půdní vlhkosti je tento efekt podobný, kde se při zvyšující vlhkosti soudržnost u těžkých a jílovitých půd snižuje, u písčítých půd se ale soudržnost s přibývajícím vlhkostí zvyšuje.

Adheze neboli přilnavost je dána působením vnitřních přitažlivých sil uprostřed tělesa, tj. v půdě mezi jednotlivými půdními částicemi a povrchem takového tělesa vnikajícím do půdy. Tato přilnavost u půd zpravidla vzrůstá s obsahem koloidů v půdě a zvyšující se vlhkostí.

Při vzájemném působení koheze a adheze při určité vlhkosti nastává stav, který můžeme souhrnně charakterizovat pojmem konzistence zemin. Tento stav lze hodnotit slovně, kde u těžších zemin mluvíme o tvrdosti, stmelitelnosti, tvárnosti, mazlavosti, kašovitosti, rozbředlosti, u lehčích, písčítých zemin, pak sypkosti, tvárnosti či tekutosti. Kromě slovního hodnocení je vhodné při dané vlhkosti využít pro určení konzistence některou z konzistenčních mezí, např. podle Atterberga (Šarapatka, 2014).

1.2.4 Textura – zrnitostní skladba půdy

Texturou půdy se rozumí její zrnitost. Velikost zrn má zásadní vliv na pronikání vody do půdy a na schopnosti tuto vodu zadržet. Do hrubozrnných půd snadněji proniká srážková voda, ale do jemnozrnných hůře. Tato půda se pak stává sušší, tuto vlastnost lze pozorovat zvláště na svazích, a to v závislosti na příslušných místních klimatických poměrech. Co se týče závislosti velikosti zrn na zadržování vody se uvádí, že jemnější půdy mají tuto schopnost, nazývanou jímavost, vyšší a hrubozrnné nižší. Ke zkoumání textury se využívá zrnitostní rozbor. Původní metoda spočívala v hodnocení na základě pohmatu. Půda v prstech po ovlhčení buďto „škrábala“, přičemž zrna jsou hrubá, nebo se „mazala“, jelikož zrna jsou jemná. Pokrokem se stalo určování metodou prosévání vysušené zeminy soustavou sít s různě kalibrovanými otvory. Takovéto prosévání bývá v praxi pedologů málo časté. Zrnitostní rozbor se zpravidla provádí pomocí usazování nebo vyplavování (Horáček a kol., 1994; Smolík, 1957; Yong a kol., 2012).

Podstata zrnitostního rozboru udává poměrný počet určité velikosti a je základem začlenění půdy podle druhu. Takovéto zrnitostní třídění zrn se provádí zpravidla prostřednictvím vody. V zásadě se porovnává rychlost pádu různě velkých zrn pomocí sedimentační neboli usazovací metody nebo odolnost zrn proti proudu tekoucí vody určité rychlosti pomocí elutriační neboli vyplavovací metody.

Mezi základní metody zrnitostního rozboru patří:

- Vyplavovací (elutriační) metoda – využívá se různé rychlosti proudu vody v tzv. Kopeckého přístroji. Ten se skládá z jednotlivých skleněných nádob, ve kterých se postupně zachytávají jednotlivé frakce částic. Uvedená metoda je na ústupu vzhledem k náročnosti na vybavení a nedostatečnou přesnost.
- Sedimentační metoda s dekantací – podstata této metody závisí na usazování zrn ve válci, který je přizpůsoben pro vypouštění z boku. Dekantací se rozumí oddělování kapalné a tuhé fáze v suspenzi. Jednotlivé velikosti částic sedimentují za jinou dobu, jejíž výpočet slouží k určení velikosti zrn. Tato metoda se musí za sebou několikrát opakovat až do úplné čirosti válce, a proto patří do skupiny opakované sedimentace. Tato

metoda je velmi přesná, ale pro svoji zdlouhavost není vhodná pro běžné zrnitostní rozборы.

- Pipetovací metoda – při této metodě se nechá promíchaná suspenze nerušeně sedimentovat. Tato metoda se řadí mezi metody s neopakovanou sedimentací. Pro stanovení jednotlivých frakcí se odebírá vzorek určitého objemu při průběhu sedimentování, a to z určité hloubky, která odpovídá délce sedimentační dráhy hledané zrnitostní frakce po určitém čase, který je předem dán. Obsah pipety se po odběru vysuší a zváží a následně se podle hmotnosti určí procentické zastoupení dané frakce. Tato metoda je poměrně přesná, nepřesnosti mohou nastat při konečném vážení velmi malých vysušených vzorků.
- Hustoměrná metoda – patří do skupiny neopakované sedimentace. Princip spočívá v postupném usazování zrn za čas, kdy se při tomto ději pozoruje úbytek hustoty této suspenze. Pokles hustoty se určuje speciálním hustoměrem jako funkce času. V praxi tuto metodu zavedl A. Casagrande a je hojně využívanou.
- Instrumentální metody stanovení zrnitosti – takové metody jsou známé, ale v praxi ojedinělé. Kromě klasického sítového rozboru na tzv. mokré cestě, kde je principem mechanické působení vibrací na vzorky mezi jednotlivými síty, přičemž jsou rozdělčovány jednotlivé frakce na síta pomocí tekoucí vody, jsou zde přítomny metody s využitím velmi sofistikovaného zařízení, které se ale díky vysoké ceně těchto přístrojů v praxi nevyužívají. Mezi tyto zařízení patří „Scanning-foto-sedimentogram“, který je schopen vykreslit zrnitostní křivku na základě fotometrického snímání, a univerzální měřicí přístroj s laserovým paprskem, jehož princip spočívá v měření rozptylu a ohybu laserového paprsku procházejícího zrní různých velikostí (Horáček a kol., 1994; Valla a kol., 2000; Yong a kol., 2012).

Zrnitost udává velikost jednotlivých frakcí v půdě a jejich poměrné zastoupení. V oboru se používá několik klasifikačních systémů. V ČR se stále používá poměrně jednoduchá a praktická klasifikace podle Nováka. Na základě této klasifikace se určí půdní druh, což je jeden z hlavních parametrů půdy pro praktické využití a Nováková

klasifikace je také přílohou č. 8 k vyhlášce č. 275/1998 Sb. ve znění pozdějších předpisů (Bičík a kol. 2009; Planeta 2004).

Novákova klasifikace půdních druhů

Označení půd – půdní druhy		Obsah hrubého jílu % částice <0,01 mm
skupinové	jednotlivé	
Lehké (lehko obdělávatelné)	Písčité	0 – 10
	Hlinitopísčité	10 – 20
Střední (středně obdělávatelné)	Písčitohlinité	20 – 30
	Hlinité	30 – 45
Těžké (těžko obdělávatelné)	Jílovitohlinité	45 – 60
	Jílovité	60 – 75
	Jíly	>75

Obrázek č. 2 - Novákova klasifikace půdních druhů; © Zdeněk Máčka

1.2.5 Struktura půdy

Při stanovování struktury se sleduje uspořádání jednotlivých částic v půdním horizontu. Hodnotí se velikost, tvar a stupeň vývinu povrchu půdních agregátů. Půdní struktura je jednou z nejvýznamnějších fyzikálních charakteristik. Při určování struktury se hodnotí pórovitost neboli makro a mikro póry, tj. prostory mezi půdními agregáty, které významně ovlivňují vodní a vzdušné poměry v půdě. Tyto prostory mají vliv na záhřevnost půdy a souvisí s chemickými i biologickými procesy v půdě. Půdní struktura se vyvíjí společně s půdou v závislosti na mnoha faktorech. Fyzikálními faktory jsou vysychání a zvlhčování, které mají za následek bobtnání, smršťování, pukání s následným vznikem kanálků, za další tyto pukliny způsobuje mrznutí a tání, díky nimž se ve struktuře objevují malé prostory. Díky minerální skladbě půdy je struktura ovlivňována i chemickými faktory, které se podílejí i na tvorbě půdních agregátů. Mezi minerálními částmi se nacházejí specifické jílovité částice, na jejichž površích reagují poutané ionty a ionty v půdním roztoku. V neposlední řadě se velmi výrazně projevují biologické faktory, díky nimž se půdní

struktura přeměňuje. Kořeny rostlin odnímají vodu, svým růstem vyplňují mezery a po odumření zanechávají v půdě organickou hmotu a kanálky. V půdě se pohybují půdní živočichové, kteří přemísťují částice, vytvářejí exkrementy a budují chodbičky. Jako iniciátoři humifikace v půdě působí půdní mikroorganismy, které rozkládají organické látky a zároveň vytvářejí nové (Planeta 2004; Šimek 2005).

Půdní strukturu charakterizuje půdní typ, u kterého se dále rozlišuje strukturní třída.

Základní strukturní typy jsou:

- kulovitá (zrnitá) – dělí se na hrudovitou, hrudkovitou, drobtovou, jemně drobtovou a práškovou
- polyedrická – dělí se na polyedrickou a drobně polyedrickou
- prizmatická (hranolovitá) – dělí se na hrubě prizmatickou, prizmatickou a drobně prizmatickou
- deskovitá – dělí se na deskovitou, destičkovitou a lístkovitou (Planeta, 2004).

Dále je možné určit strukturní stupeň – stupně 0 až 3, kdy 0 znamená bezstrukturní půdu (vytvořená z částic – písek nebo masivně slitá – jíl), stupeň 3 – trvanlivá, kde se agregáty zřetelně odlišují, jsou slabě poutané a lehce se dělí (Šimek, 2005).

1.2.6 Pórovitost

Pórovitost je vlastností ovlivněnou přímo půdní strukturou a vyjadřuje celkový objem pórů v neporušené půdě. Povrchové horizonty mívají hodnoty pórovitosti v rozsahu $0,4-0,6 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, což vyjadřuje že 40–60 % objemu půdy je tvořeno póry. Co se týče vlivu pórovitosti na pedogenezi, lze její projevy spatřit především v transportních procesech a na intenzitě procesů přeměn. Hodnota pórovitosti záleží především na humóznosti půdy, její zrnitosti, struktuře a na genetickém půdním horizontu. V minerálních půdách bývá nižší než v půdách organogenních. V písčítých půdách bývá pórovitost nižší než v jílovitých a hlinitých půdách a v jílovitých půdách bývá nižší než v hlinitých, a to díky větší slévatelnosti jílových částí. Pórovitost se zpravidla snižuje s rostoucí hloubkou, a to také vlivem tlaku svrchnějších půdních horizontů (Němeček a kol., 1990; Šimek, 2005).

Smolík (1957) uvádí, že v terénu lze pozorovat projevy struktury po dešti, kdy se na strukturních půdách netvoří kaluže, zato na bezstrukturních ano. V rámci hospodaření považuje za důležité, aby měly půdy ve svrchním horizontu strukturu drobtovitou. Drobtvy mezi sebou sice vytvářejí hrubé – nekapilární póry, ale nejjemnější póry uvnitř drobtů jsou kapilární. Za sucha drobtvy na povrchu osychají, uvnitř se ale voda dlouho udrží. Drobtovitá půda se považuje za nejkvalitnější a vhodnou pro pěstování, právě pro vyvážený poměr hrubých (nekapilárních) a jemných (kapilárních pórů). Jemné kořenové vlášení rostlin na stepních půdách proniká do nitra drobtů, a tím udrží rostliny dlouho při životě. Důležitou roli hraje také výpar, kdy ze strukturních půd je slabý, zato z bezstrukturních půd značný. Co se týče retenčních charakteristik, strukturní půdy dokáží zadržet až 100 % vody, kdežto bezstrukturní nejvýše 30 %. Strukturní půdy přispívají k provlhčení celého půdního profilu. Bezstrukturní půdy podléhají zvýšené vodní erozi. Strukturnost půdy lze příznivě ovlivnit správným zpracováním půdy spolu s hnojením. (Hůla a kol., 1997; Smolík, 1957).

1.2.7 Měrná hmotnost

Specifická měrná hmotnost půdy, respektive půdních částic je hmotností 1 m³ pevné neporézní zeminy vyjádřená v tunách (t · m⁻³) nebo gramech (g · cm⁻³). V České republice je běžnou průměrnou měrnou hmotností hodnota mezi 2,6–2,7 g · cm⁻³ u minerálních půd, ale u organických půd bývá tato hodnota výrazně nižší. Výše zmíněný rozsah hodnot u minerálních půd lze přičítat tomu, že měrná hmotnost křemene je 2,65 g · cm⁻³ a živců je v rozmezí 2,56–2,76 g · cm⁻³. Právě tyto minerály převažují v minerálních půdách, které se nacházejí v mírném pásmu, tudíž je měrná hmotnost minerálních půd přibližně 2,6 g · cm⁻³. U půd, ve kterých je obsažen podíl organické hmoty, musí být tato měrná hmotnost nižší. U zemědělsky využívaných ploch se tato hodnota pohybuje v rozmezí 2,4–2,6 g · cm⁻³. Na základě bazálního monitoringu půd bylo stanoveno rozmezí průměrných hodnot měrné hmotnosti, které se nacházely mezi 1,8 g · cm⁻³ a 2,92 g · cm⁻³. Co se týče lesních půd, zde je možné se setkat u hrabanky, což je odpad lesních dřevin, až s hodnotou, která se blíží 1 g · cm⁻³. V lesních porostech je proto měrná hmotnost půdy zpravidla nejnižší (Bičík a kol., 2009; Planeta 2004; Šimek, 2005).

1.2.8 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost představuje hmotnost jednoho metru krychlového půdy v jeho přirozené struktuře a v neporušeném stavu, a to v $t \cdot m^{-3}$ nebo $g \cdot cm^{-3}$. Objemová hmotnost půdy musí být vždy nižší než její měrná hmotnost. Je přímo závislá na vlastnostech, tj. na zrnitosti, struktuře, vlhkosti a pórovitosti. Je podstatným parametrem při stanovení míry utužení půdy, které je možné také nazvat pedokompakcí. V pedologické praxi se objemovou hmotností uvažuje tzv. objemová hmotnost redukovaná, což je v podstatě hmotnost po vysušení. Objemová hmotnost redukovaná bývá zpravidla zjištěna v rozmezí $0,8-1,8 t \cdot m^{-3}$. U organických půd se může nacházet v rozsahu mezi $0,2-0,3 t \cdot m^{-3}$, u nadložního lesního horizontu i $0,1 t \cdot m^{-3}$. Je to způsobeno, tím, že objemová hmotnost zahrnuje částice i póry, tedy půdy s vyšší pórovitostí mají objemovou hmotnost nižší než půdy, které jsou celistvější a mají méně pórů. Tudíž těžší půdy, tj. hlinité a jílovité, mívají běžně menší objemovou hmotnost než půdy lehčí, písčité (Bičík a kol., 2009; Planeta 2004; Šimek, 2005).

Kategorie objemové hmotnosti popsal Kutílek (1966) a v České republice je tato kategorizace uvedena jako příloha č. 8 k vyhlášce 275/1998 Sb. ve znění pozdějších předpisů, viz tabulka č. 1.

Objemové hmotnosti podle Kutílka (1966) [$g \cdot cm^{-3}$]	
< 1,2	stav horizontu výborný
1,2 – 1,4	stav horizontu dobrý
1,4 – 1,6	stav horizontu nevyhovující
1,6 – 1,8	stav horizontu nestrukturní

Tabulka č. 1 - Objemové hmotnosti podle Kutílka (1966), zdroj: Planeta 2004

Stupnic pro charakterizování půdních horizontů podle objemové hmotnosti je několik. Vhodnou stupnici uvedl Arshad et al. (1996), ve které se třídí podle textury a základním kritériem je omezení růstu kořenů rostlin.

Přibližné minimální hodnoty objemové hmotnosti pro omezení růstu kořenů [$g \cdot cm^{-3}$] v závislosti na půdním druhu (textuře), Arshad et al. (1996), viz tabulka č. 2.

Objemová hmotnost [g · cm ⁻³]	Textura
1,80	písčítá, hlinitopísčítá
1,77	velmi jemné písky a hlinité písky
1,75	písčitohlinitá
1,70	hlinitá, hlinitojílovitopísčítá
1,65	jílovitohlinitá
1,60	jílovitopísčítá
1,55	prachovitá, prachovitohlinitá
1,50	prachovitojílovitohlinitá
1,45	prachovitojílovitá
1,40	jíl

Tabulka č. 2 - Minimální hodnoty objemové hmotnosti pro omezení růstu kořenů v závislosti na půdním druhu, Arshad et al. (1996), zdroj: Bičík a kol., 2009; Planeta 2004

1.2.9 Barva

Barva je důležitou vlastností půd a na jejím základě lze stanovit mnoho činitelů, například její vznik, složení, procesy pohybu vody v půdě aj. Barva se vztahuje k individuálním diagnostickým horizontům a značně závisí na obsahu organické hmoty a na přítomnosti minerálů. Organická hmota dává půdě často tóny tmavé, šedé až černé. Tyto barevné odstíny více absorbují světlo a působí také na větší záhřevnost těchto půd, což má za následek zvýšený výpar a snižování vlhkosti. Tmavá barva bývá známkou vyššího obsahu humusu a tím zvýšené úrodnosti. Černá barva může být také znakem přítomnosti oxidů manganu. Sloučeniny manganu dávají půdě hnědočervené až nafialovělé zbarvení. Mezi významné součásti ovlivňující barvu půdy náleží sloučeniny železa. Železité sloučeniny zbarvují půdu žlutě, hnědě nebo červeně, zato železnané sloučeniny vyskytující se v prostředí s nedostatečným přístupem vzduchu zbarvují půdu zelenavě až namodrale. Dalšími součástmi ovlivňující barvu půdy jsou uhličitany vápenitý a kaolinit, které se při vyšší koncentraci zbarvují bělavě, šedavě nebo žlutavě. Mezi tyto součásti také patří křemen a jíl, ty ale nemají nápadné zbarvení, jsou neurčitého světlého zbarvení, jehož projev lze spatřit po odstranění nápadněji se zbarvujících součástí (Šarapatka, 2014; Šimek, 2005; Planeta 2004).

Barva půdy a její změny jsou obrazem spousty vlivů, které na ní působí. Změny barvy se kromě svrchní vrstvy odehrávají v celém půdním profilu. Tyto změny dělí půdu na jednotlivé horizonty (Pelíšek, 1957).

Pro hodnocení barvy půd se dříve využívalo metody hodnocení vlastním subjektivním popisem. Tento popis byl značně nepřesný a výrazně se lišil v jednotlivých interpretacích. Takovéto označení se provádělo s užitím dvou nebo tří slov, kde posledním slovem byla zpravidla samotná barva, prostřední slovo označuje odstín a první intenzitu (např. světle hnědožlutá). Podobným nepřesným stylem označování bylo připodobnění barveného odstínu obecně známému objektu (např. šedá holubí, hnědá kaštanová, kávově hnědá apod.). Z důvodu potřeby jednotné interpretace při stále zvyšující se vědecké činnosti v oblasti pedologie bylo nutné systém určování barev sjednotit (Bičík a kol., 2009).

Pomocným nástrojem pro sjednocené určování barvy sloužila barevná schémata. Takové schéma u nás vytvořil známý pedolog Jaroslav Spirhanzl (Pelíšek, 1957).

Mnohem výhodnější, než určování barvy pomocí odhadu je využití tzv. Munsellovy barevné škály. Tento systém, resp. sjednocená tabulka barevných odstínů byla zavedena ve Spojených státech severoamerických a dnes je v pedologii světovým standardem. V této barevné stupnici je určována základní barva (hue), sytost (chroma) a odstín (value). V základních barvách je červená (R – red), žlutá (Y – yellow), zelená (G – green), modrá (B – blue) a nachová (P – purple). V zásadě je nutné zvolit některou ze základních barev nebo barevný přechod mezi dvěma barvami. Výsledné hodnocení odstínu je pak označeno specifickým kódem. Typickou kategorií pro půdy v ČR podle Munsellovy vzorkovnice je 7,5-10 Y R, což charakterizuje odstíny od černé přes hnědou, žlutohnědou až k šedivým odstínům (Bičík a kol., 2009; Planeta 2004).

1.3 Půdy v ČR

Půdy v České republice jsou významnou měrou ovlivňovány jistými půdotvornými činiteli. Mezi tyto základní procesy, kromě zvětrávání a humifikace patří dále eluviace, iluviace, oglejení, glejový proces a zasolování.

Eluviace neboli také vyplavování či ochuzování je proces, při kterém dochází k posouvání některých složek v půdě pomocí půdních nebo koloidních roztoků

z vrchní části do spodiny. Jde-li o posouvání rozpustných solí, hovoříme pak o vyluhování, posouvá-li se uhličitán vápenatý, dochází k tzv. degradaci. Jestliže dochází k posunu jílu, jedná se ilimerizaci a pokud se jedná o sloučeniny železa a hliníku, mluvíme o podzolizaci, ke které dochází zpravidla spolu s organickými látkami. Zvláštní název má také vyluhování probíhající na zasolených půdách, zde se jedná o slancování.

Iluvie neboli obohacování, je opakem eluvie. Zde dochází ke hromadění vyluhovaných součástí, a to v určité vrstvě.

Oglejení a glejový proces jsou takové procesy, ke kterým dochází převážně v zamokřených půdách. K oglejení dochází při převlhčování nadzemní vodou, glejový proces vzniká naopak při trvale zvýšené hladině podzemní vody. Při oglejení dochází k uvolňování sloučenin železa a vzniku novotvarů z těchto sloučením, ke kterým dojde při střídání redukčních a oxidačních procesů způsobených při střídavém převlhčování a vysoušení. Při glejovém procesu dochází k redukci sloučenin železa, příp. manganu v anaerobních podmínkách, a to při současném zvýšení organických látek v závislosti na rozkladu prvotních minerálů vlivem půdní kyselosti. Glejový proces se projevuje na našich půdách zajílením, či šedou, zelenavou nebo namodralou barvou zeminy. Při slabším vlivu jsou tyto glejové půdy výrazné svými početnými rezavými skvrnami.

Solončakování je takový půdotvorný pochod, kde jsou do půdního profilu vnášeny lehce rozpustné soli jako sírany, uhličitany a chloridy jednomocných kationtů, zvláště pak sodíku. V našich půdách se s takovým procesem setkáme zpravidla při aridnějším klimatu, kdy jsou tyto soli vynášeny vztláním slině mineralizované vody.

Slancování je procesem vymývání solí z povrchových vrstev do spodiny, kde se hromadí.

V půdě zpravidla vždy probíhá několik půdotvorných procesů, a ty se vzájemně ovlivňují. Při klasifikaci půd vycházíme z takového procesu, který půdu výrazně ovlivňuje či má jistou vedoucí úlohu, pak zde hovoříme o hlavním půdotvorném pochodu. Ostatní půdotvorné procesy jsou vedlejší (Němeček a kol., 2000; Tomášek, 1995).

1.4 Hlavní a nejrozšířenější půdní typy

Černozemě – jedná se o nejhodnotnější a nejurodnější půdy v České republice. Jejich výskyt v naší republice je především v těch nejsušších a nejteplejších oblastech. Matečným substrátem bývají spraše, výjimečně také zvětraliny slínovců. Nadmořská výška oblastí, kde se černozemě vyskytují většinou nepřesáhne 300 m. n. m. Její barva bývá velmi tmavá až černá, což odkazuje na vysoký obsah humusu v tomto horizontu. Černozemě mívají velmi dobré sorpční vlastnosti a také se v nich hojně vyskytuje půdní edafon. Vlastnosti tohoto typu se udržují zemědělskou kultivací a tato půda se využívá jako orná. Vysoké zastoupení těchto půd je na jižní Moravě a pěstuje se na ní především kukuřice, cukrovka, vojtěška, pšenice a ječmen.

Smonice – v ČR mají tyto půdy velmi zvláštní postavení. Jejich výskyt je především na Chomutovsku, a to díky severočeské hnědouhelné pánvi, kde se nacházely montmorillonitické třetihorní jíly. Zajímavostí je také osamocení tohoto půdního typu v Čechách, kdy jejich nejbližší výskyt se nachází na vzdáleném Balkánském poloostrově (Tomášek, 1995). Podle Němečka (2001) se tento půdní typ kromě severozápadních Čech vyskytuje také na jižní Moravě.

Šedozemě – země tohoto typu se na našem území vyskytují jen velmi málo. Jejich výskyt se podle Tomáška (1995) nachází především na Královéhradecku, částečně na Hané. Šedozemě se zpravidla nevyskytuje v územích s nadmořskou výškou nad 300 m. n. m. Místa výskytu tohoto půdního typu bývají chladnější a zároveň vlhčejší než u černozemí. Dominantním půdotvorným substrátem bývají spraše. Vznik šedozemí bývá obdobný jako u černozemí, tj. humifikací, ale významně se na něm podílí také ilimerizace. Humusový horizont těchto půd bývá zasažen eluviací, což se projevuje světlejším zbarvením, lístkovitou strukturou a nápadnou prachovitou přítomností kyseliny křemičité na povrchu strukturních částí. Ve větších hloubkách se setkáme s přechodem do iluviálního horizontu, kde spatříme přítomnost jílnatých částic také s obohacením formou přemístěného humusu. Šedozemě lze také zařadit do nejurodnějších půd, je nutné však jejich úrodnost udržovat správným hnojením.

Hnědozemě – vyskytují se nižších pahorkatých oblastech a v okrajových částech nížin, podnebí zde bývá vlhčí než u černozemních oblastí. Typické oblasti hnědozemí bývají v nadmořské výšce mezi 200 až 450 m. n. m. Dominantním půdotvorným procesem při vzniku hnědozemí je ilimerizace, kdy se jílnaté součásti ve svrchní vrstvě

přemist'ují hlouběji pomocí vsakující se vody. Tento jev se ale u hnědozemí projevuje méně než u půd illimerizovaných. Půdní profil se skládá z vrchní humusové části, pod ní bývá slabě zesvětlený ochuzený horizont eluviální, který ale bývá často orbou zcela rozrušen. Ornice půd, které jsou zemědělsky využívány, se vytvořila z akumulace humusu a slabě eluviovaného horizontu. V hloubce 30–70 cm bývá výrazně hnědě až rezavě zbarvený horizont iluviální, obohacený o jílnaté součásti. Až pod těmito vrstvami se nachází vlastní matečný substrát.

Illimerizované půdy – vyskytují se obvykle v pahorkatinách a vrchovinách. Matečným substrátem bývají sprašové hlíny, středně těžké sedimenty vzniklé působením ledovců či smíšené svahoviny a někdy i zvětralinu pevných hornin. Dominantním jevem je zde ilimerizace. Dříve se tyto půdy nerozlišovaly od podzolovaných půd, i když je jejich rozdíl podstatný. Pod humusovým horizontem leží velmi výrazně zesvětlený až vybělený eluviální horizont. Ten přechází do rezivě hnědého iluviálního horizontu, který zasahuje až do matečného substrátu. Tyto půdy charakterizuje také oglejení, tzn. zhutnělý těžce propustný horizont obohacený jílem na svém povrchu zadržuje srážkovou vodu a díky ní dochází ke koncentraci hydratovaných oxidů železa a manganu, které způsobují vznik tvrdých rezavých malých útvarů, tzv. broučků, které jsou zastoupeny ve vyběleném svrchním eluviálním horizontu.

Pseudogleje – jejich zastoupení dominuje ve středních výškových stupních spolu s půdami illimerizovanými, kde se s nimi často střídají. Pseudogleje jsou typickou půdou pro naše pánve (českobudějovická, třeboňská, chebská). Vznik pseudoglejí bývá zpravidla na smíšených písčitojílovitých sedimentech, popř. až písčitých, kdy směrem do spodiny jsou tyto sedimenty však těžší. Hlavním půdotvorným procesem je oglejení, podřízeným procesem pak bývá illimerizace, která však vlastnímu oglejení předchází. Pod vlastním humusovým horizontem se nachází oglejený horizont s bělošedým zbarvením, rezivými skvrnami se vznikem železitých broučků, a to v několika decimetrech. V tomto horizontu se lze někdy setkat také se znaky eluviace. Do spodiny pak přechází slabě iluviovaný bělošedě mramorovaný horizont. Výrazné oglejení těchto půd je známkou nepříznivých fyzikálních vlastností. Tyto půdy trpí nedostatkem provzdušnění, hromaděním organické hmoty, která se pomalu rozkládá

a díky zhutnělé spodině jsou často převlhčené. Zemědělská hodnota těchto půd je nízká, pro produktivnější využití musí být zpravidla radikálně odvodněny.

Nivní půdy – nacházejí se v nížinách, zpravidla na dně řek a v údolích. Rozšíření těchto půd je v ČR docela hojné. Půdotvorným substrátem bývají hlavně naplaveniny řek. Humusový horizont nebývá silný, pod ním se pak nachází přímo matečný substrát vytvořený naplaveninami. Struktura těchto půd bývá nejednoznačná, a zvláště je pak ovlivněna konkrétním tokem a jeho vzdáleností od nivní půdy. Sorpční vlastnosti i složení humusu bývají příznivé, pH půdy bývá lehce kyselé až neutrální. Na těchto půdách se dobře daří kvalitním lučním porostům, výjimkou ale ani nebývá pěstování cukrovky či pšenice v oblastech s příznivějším klimatem.

Černice – v našich podmínkách jsou docela časté v nízkých polohách, typicky v Polabí a na jižní Moravě. Výskyt často na nivních uloženinách, zvětralinách slínovců nebo na písčítých terasách ovlivněných hladinou podzemní vody. Vlastnosti těchto půd jsou ovlivněné především vysokou humifikací a částečně také glejovým procesem ve spodních částech. Půdní reakce zde bývá neutrální až slabě zásaditá, a to je způsobeno přítomností karbonátů. Z hlediska úrodnosti se zde nachází vysoký podíl humusu, který je zpravidla velmi kvalitní, a proto se na odvodněných černicích pěstuje cukrovka, pšenice nebo polní zelenina.

Hnědé půdy – u nás jsou nejrozšířenějším půdním typem. Jejich výskyt je zpravidla v pahorkatinách, vrchovinách a v podhorských oblastech. Velká část hnědých půd vznikala původně z lokalit pokrytých listnatými lesy. Jako zástupci matečného substrátu jsou zde zastoupeny téměř všechny horniny. Hnědé půdy jsou střední nebo nižší kvality. Hospodaří se na nich především v bramborářských oblastech, dobré podmínky pro brambory jsou především na hnědých půdách vzniklých na rulách a žulách, uspokojivé výnosy lze zde také očekávat u méně náročných plodin jako žito a oves, případně zde byl pěstován len. V nižších polohách u středně těžkých a těžších půd můžeme také uvažovat o pěstování pšenice a ječmene (Němeček a kol., 2000; Tomášek, 1995).

2 Cíle práce

V následující části práce jsou podrobněji popsány jednotlivé využívané metody ke zjištění vybraných parametrů a možnosti jejich vyhodnocení. Tyto metody jsou popsány pro použití v rámci laboratorního měření, a to včetně přípravy jednotlivých pomůcek přes popis jednotlivých kroků až po souhrn daných výstupů. Tyto metody jsou běžně užívanými metodami a tyto postupy mají uplatnění v pedologické praxi. Níže prezentované metody jsou znázorněny, pokud možno obecněji, a to tak aby mohly být využity v různých podmínkách a také v rámci jiných individuálních rozborů.

Cílem práce je čtenářům tyto metody představit, dále popsat souvislý postup provedení těchto metod a seznámit je s výsledky.

3 Metodika

V této části jsou uvedeny jednotlivé vybrané metody v rámci měření fyzikálních parametrů půdy. Kromě samotných experimentálních metod jsou zde uvedeny také souvislosti, které je nutné uvést pro zajištění a přípravu potřebných půdních vzorků a následné praktické uplatnění těchto experimentálních metod.

3.1 Odběr vzorků v terénu

Získávání vzorků půdy přímo v terénu je jednou ze základních pedologických činností. Samotnému získávání půdních sond by mělo předcházet zjištění základních informací o předmětném pozemku z dostupných zdrojů a jejich ověření. Pro účely pedologických průzkumů hovoříme o tzv. rekognoskaci území, kdy je zásadní získat data z pozemkových map, zjistit hranice předmětného pozemku a vytvořit si pracovní mapu. Zde si zakreslíme kromě hranic např. přítomné komunikace, vodní útvary, meliorační šachty, dále zakreslíme hranice jednotlivých honů v rámci hospodaření apod.

Stav této pracovní mapy je třeba konfrontovat se skutečností přímo v terénu a seznámit se s tímto pozemkem fyzicky. Další postup v rámci rekognoskace je upřesnit údaje o geologickém složení půdy, stavu podzemních vod, svažitosti pozemku, stavu porostu a vzít v úvahu také vliv agrotechnických zásahů člověkem (Horáček a kol., 1994).

Pro potřeby měření je nutné odebrat vzorky na více stanovištích, výběr těchto stanovišť a jejich počet závisí na konkrétním pozemku a preferencích v rámci zamýšleného vyhodnocování.

V případě předmětného pozemku byla vybrána 4 stanoviště, a to z důvodu skutečnosti, že předmětný pozemek byl konfrontován s mapovou aplikací Státního pozemkového úřadu se zobrazenými viditelnými průběhy hranic BPEJ (Celostátní databáze BPEJ, ©2017-2020), kde hranice BPEJ prochází pozemkem celkem 3krát a rozděluje ho tedy na čtyři odlišně bonitované úseky BPEJ. Podrobněji je tento pozemek popsán spolu s významem BPEJ v další kapitole této práce.

V každém z těchto čtyř stanovišť byly odebrány homogenní neporušené vzorky půdy do tzv. Kopeckého válečků, a to celkem ve třech hloubkách, tj. hloubka ornice

0–15 cm, podorniční hloubka 15–30 cm a hloubka 30–45 cm. Vzorek z každé hloubky byl odebrán s dvojnásobným opakováním, tj. 3 Kopeckého válečky byly odebrány z každé hloubky, a to v těsné blízkosti, viz obrázek č. 3.



Obrázek č. 3 - Odběr vzorků pomocí Kopeckého váleček

Pro samotný odběr vzorků je třeba si připravit vhodné pomůcky, kdy tyto jsou: nerezavějící válečky v potřebném počtu, násadce a břity pro válečky v počtu tří kusů, potřebný počet víček pro válečky, nožík na seřezávání zeminy, rýč, lopata, malá vybírací lopatka, vhodná je také zednická lžíce, metr, palička, vhodný dřevěný špalík, igelitové sáčky, záznamové zařízení, např. zápisník s tužkou a užitečná je také vhodná

podložka pro klečení. Odběr začíná vyhloubením jámy odpovídající hloubky a průměru pro velikost tří válečků, kdy každý váleček je o objemu přibližně 100 cm³. Z místa odběru je nutné odstranit všechnu volnou zeminu, protože každý váleček musí obsahovat homogenní vzorek zeminy. Jednotlivé válečky jsou vhodně rozmístěny a každý zvlášť je nutné ručně zatlačit pomocí násadce do zeminy, v našem případě, kdy je půda značně ulehlá a vyschlá, bylo nutné každý váleček s násadcem v horní části a břitem ve spodní části zatlouci pomocí vhodného dřevěného špalíku a ruční paličky. Každý váleček je nutné bez porušení vyjmout pomocí tlaku z okolí válečku vhodným nástrojem, např. malou lopatkou, a odebráním okolní zeminy, kdy je nutné dbát zvýšené opatrnosti, aby celý obsah válečku zůstal neporušen. Takto vyjmutý váleček je nutné na každé straně seříznout do roviny nožem, opatřit zátkami z obou stran a s řádnou evidencí uložit do igelitového sáčku. Ukázka seříznutí vyjmutého válečku a opatření víčkem viz obrázek č. 4.



Obrázek č. 4 - Vyjmutý a seříznutý Kopeckého váleček

V případě, že se nepodaří odebrat neporušený váleček, tj. odloupne-li se část zeminy nad míru seříznutí s okrajem nebo se v této hranici nachází např. kámen, je nutné odběr opakovat. Tyto odebrané válečky je vhodné udržet v chladu a v co nejkratší době je dopravit do laboratoře za účelem rozborů.

3.2 Rozbor neporušeného válečku

Neporušený vzorek ve válečku nám zobrazuje skutečný stav půdy v terénu a většina fyzikálních vlastností se vztahuje právě k tomuto stavu. Zde se nezajímáme pouze o počty půdních částic, ale i o jejich samotné uspořádání a mezery mezi nimi. Tyto dutiny jsou pak rozhodující pro pohyb vody v půdě, přítomnost vzduchu a jsou také velmi důležité pro zakořeňování rostlin.

Rozbor neporušených 100 cm³ válečků zahrnuje několik určení, které tvoří plynulý postup.

Pomůcky

Vzorky půdy odebrané pomocí Kopeckého válečků, řádně uzavřené a zaevidované, hodinové sklo průměru 7–8 cm v odpovídajícím počtu válečků, tužka na sklo, kruhový filtrační papír s cca 2 cm přesahem po obvodu válečku, vhodná lázeň pro kapilární nasávání válečků složená z ploché mísy, děrované vložky a filtračního papíru. K dispozici je nutná laboratorní váha, destilovaná voda a také vhodné potřeby pro zápis. Pro vysušení vzorků je vhodné mít rovněž k dispozici laboratorní sušárnu.

Postup

Při manipulaci se vzorky je nutné dbát zvýšené opatrnosti pro omezení ztrát hlíny, kdy se přikládá hodinové sklo přímo na váleček a dále se váleček udržuje vždy ve vertikální poloze tak, jak byl odebrán přímo v terénu, aby byl zachován směr přirozeného kapilárního vztlínání. Dále je nutné ke každému vzorku přiřadit vždy jedno hodinové sklo, dbát pečlivého vážení a označení příslušných skel k daným válečkům. Nejprve se váleček odvíčkuje ve spodní části, kdy se na jeho místo přiloží hodinové sklo a následné vážení je prováděno vždy se sklem. Všechna vážení se provádějí na setinu gramu.

Spodní hrana válečku je opatřena kruhovým filtračním papírem a společně s ním je vložena na hodinové sklo. Jako počáteční stav je takto celý komplet zvážen a tím se určí hmotnost G_A , ze které se v tabulce následně určí momentální vlhkost W_{mom} .

Nyní se váleček umístí na vodní lázeň, kdy je v ploché míse umístěna perforovaná vložka s filtračním papírem a hladina destilované vody je v souladu s úrovní filtračního papíru a jeho konce jsou ponořeny ve vodě. Na takto vytvořenou lázeň se

umístí válečky a nyní dochází k nasycování podle Nováka prostřednictvím kapilárního vztlínání. Nutné je vrchní stranu válečku zakrýt hodinovým sklem, aby nedocházelo k vysušování. Toto nasycování probíhá až do druhého dne, nejméně však 12 hodin, a to do doby, než je váleček zcela kapilárně nasycen. Umístění válečků na vodní lázni je vhodně znázorněno na obrázku č. 5.



Obrázek č. 5 - Umístění válečků na vodní lázni

Po kapilárním nasycení se válečky odstraní z vodní lázně, vhodné je válečky sejmout vysunutím do strany, aby nedošlo k porušení obsahu, a to včetně spodního kruhového filtračního papíru, a takto sejmuté válečky se po okapaní umístěné na hodinové sklo zváží. Získá se hmotnost G_B , která slouží pro určení nasáklivosti N_S .

Nyní se připraví filtrační papír, který se složí tak, aby byl čtyřvrstvý. Zapiše se čas, který se bere jako čas nula, a válečky se na takto připravený filtrační papír umístí,

a to tak, kdy horní část válečku je zakryta hodinovým sklem. Umístění válečků na filtračním papíru je znázorněno na obrázku č. 6.



Obrázek č. 6 - Umístění válečků při posledním odsávání pomocí filtračního papíru

Tímto začíná počátek odsávání a od tohoto okamžiku se měří čas. První odsávání probíhá po dobu 30 minut, poté následuje zvážení na hodinovém skle, kdy získáme hmotnost G_C , kterou následně využijeme pro určení třicetiminutové vlhkosti W_{30} .

Nyní se pokračuje v odsávání zakrytých válečků na novém suchém čtyřnásobném filtračním papíru po dobu 90 minut (2 hodiny od času nula). Po zvážení získáme hmotnost G_D , která dále slouží pro zjištění maximální kapilární vodní kapacity MKK podle Nováka.

Váleček se dále postaví na další suchý čtyřnásobný papír, kde zakrytý bude odsáván dalších 22 hodin (24 hodin od času nula). Po následném zvážení získáme hmotnost G_E , která slouží k určení přibližné retenční vodní kapacity RVK_{24} .

Zemina z válečku se nyní vytlačí na předem odvážený čtvercový filtrační papír, (vhodné je tento nahradit například odváženou hliníkovou miskou), váleček se dokonale očistí kruhovým filtračním papírem, který byl po celou dobu se zeminou a celý tento pečlivě oddělený obsah z válečku je nutné umístit do sušárny. Zemina se vysušuje do konstantní hmotnosti alespoň 6 hodin při 105 °C. Po vychladnutí je nutno tyto vzorky dokonale vysušené zeminy zvážit a získat čistou hmotnost vysušené

zeminy G_F (po odečtení hmotnosti obalu či podložky vysušené zeminy, tj. hmotnosti hliníkové misky nebo čtvercového filtračního papíru), která slouží ke stanovení objemové hmotnosti.

Nutné pro správné provedení výpočtů je také zvážení čistého válečku – hmotnost G_{tv} , příslušného hodinového skla, která již byla určena – G_{ts} a tím se získá hmotnost tary G_t . Tarou se v tomto případě uvažuje součet hmotnosti krycího hodinového skla a vlastní hmotnost Kopeckého válečku, tj. $G_t = G_{tv} + G_{ts}$. Možné je také připočítat hmotnost filtračního papíru, ale vzhledem k její velmi nízké hodnotě se tato hmotnost zanedbává.

Pro následné stanovení měrné hmotnosti je nutné vysušenou zeminu vhodně rozmělnit a připravit si z ní přesně navážený 10gramový vzorek.

Zápis z rozboru neporušeného válečku je důležité zaznamenávat do vhodné tabulky. Vhodná tabulka pro zápis rozboru neporušeného válečku je přílohou této práce označená jako příloha č. 1.

Tato tabulka se vyplní a dále slouží jako základní podklad k vyhodnocení rozboru neporušeného Kopeckého válečku.

3.3 Objemová (volumová) hmotnost půdy

Zde se jedná o hmotnost objemové jednotky půdy, a to v závislosti na přirozeném uložení pórů, tj. vzorek musí být neporušený a dále zcela zbavený vody.

Stanovení této hmotnosti je jednou z doprovodných půdních charakteristik v rámci základního rozboru neporušeného válečku. V rámci tohoto výpočtu se použije hmotnost neporušeného vzorku po finálním vysušení, která byla označena jako G_F , z této hmotnosti se však musí získat čistá hmotnost suché zeminy $G_{F'}$, kterou získáme z hmotnosti G_F po odečtení tary. Výpočet probíhá podle následujícího vzorce.

Vzorec pro výpočet:

$$o = \frac{G_{F'}}{O} [g \cdot cm^{-3}], \quad (1)$$

kde:

o objemová hmotnost [$g \cdot cm^{-3}$]

- G_F čistá hmotnost vysušeného neporušeného vzorku (bez tary) [g]
 O objem ocelového Kopeckého válečku [100 cm³]

3.4 Stanovení měrné hmotnosti půdy

Pro správně stanovení měrné hmotnosti jsou zapotřebí pečlivě a správně označené vzorky a neméně důležitá je také správná příprava pomůcek.

Pomůcky

Vysušená zemina, pyknometr s uzávěrem, malá porcelánová miska, skleněná tyčinka, kahan, trojnožka, azbestová síťka, temperovací lázeň, nálevka, váha, lžička, drátek.

Postup

Následující postup je určen pro každý jednotlivý vzorek půdy zvlášť.

Ze vzorku bylo odváženo 10 g suché zeminy do malé varné porcelánové misky, která byla následně zalita destilovanou vodou, a to tak aby byla zemina zcela překryta. Poté byla takto vzniklá suspenze vařena na mírném plameni za občasného promíchávání tyčinkou. Suspenzi bylo nutné vařit po dobu 5 min, a to z důvodu odstranění vzduchu. Pak se miska nechala vychladnout. Dále bylo nutné pyknometr naplnit destilovanou vodou až po hrdlo, a následně ho osušit a zvážit. Po odvážení byla voda vylita a do pyknometru byla vpravena vychladlá suspenze z porcelánové misky. Pyknometr se suspenzí byl znovu zvážen. Konečná měrná hmotnost půdy byla zjištěna na základě níže uvedeného vzorce.

Vzorec pro výpočet:

$$M_Z = \frac{Z}{(N + Z) - M} [g \cdot cm^{-3}], \quad (2)$$

kde:

M_Z měrná hmotnost [g · cm⁻³]

Z hmotnost navážky [g]

N hmotnost pyknometru s vodou [g]

M hmotnost pyknometru se suspenzí [g]

3.5 Pórovitost půdy

Pórovitost dané půdy udává procentní podíl z jednotkového objemu půdy v přirozeném stavu připadající na póry. Zjišťuje se pomocí výpočtu, a to na základě zjištěné objemové hmotnosti označené o a měrné hmotnosti označené s .

Vzorec pro výpočet:

$$P = \frac{s - o}{s} [\% \text{ obj.}], \quad (3)$$

kde:

P pórovitost dané půdy [% obj.]

s měrná hmotnost [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]

o objemová hmotnost [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]

Pro bližší podrobnosti je nutné rozdělení pórů na kapilární, semikapilární a nekapilární.

Určení kapilárních pórů nám usnadní určení hodnoty retenční vodní kapacity RVK nebo přibližné retenční vodní kapacity RVK_{24} na základě rozboru neporušených válečků, jelikož hodnota kapilárních pórů P_K je rovno hodnotě RVK nebo RVK_{24} .

Platí vztah:

$$P_K = RVK [\% \text{ obj.}] \quad (4)$$

nebo

$$P_K = RVK_{24} [\% \text{ obj.}], \quad (5)$$

kde:

P_K pórovitost kapilární [% obj.]

RVK retenční vodní kapacita [% obj.]

RVK_{24} přibližná retenční vodní kapacita [% obj.]

U semikapilárních pórů dochází postupné ustalování půdní vody na retenční vodní kapacitu. Jsou mezistupněm mezi póry kapilárními a nekapilárními a jsou dány rozdílem vlhkosti třicetiminutové, kdy již došlo k odtoku nekapilární vody, a rozdílem retenční vodní kapacity (přibližné retenční vodní kapacity).

Vzorec pro výpočet:

$$P_S = W_{30} - RVK \text{ [% obj.]} \quad (5)$$

nebo

$$P_S = W_{30} - RVK_{24} \text{ [% obj.]}, \quad (6)$$

kde:

P_S pórovitost semikapilární [% obj.]

W_{30} vlhkost třicetiminutová [% obj.]

RVK retenční vodní kapacita [% obj.]

RVK_{24} přibližná retenční vodní kapacita [% obj.]

Nekapilární póry v půdě představují takové póry, z nichž voda gravitací téměř okamžitě odtéká.

Platí vztah:

$$P_N = P - W_{30} \text{ [% obj.]}, \quad (7)$$

kde:

P_N pórovitost nekapilární [% obj.]

P zjištěná hodnota pórovitosti [% obj.]

W_{30} vlhkost třicetiminutová [% obj.]

3.6 Zrnitostní rozbor

Zrnitostní rozbor půdy podává informace o poměrném zastoupení částic podle jejich určité velikosti. Zrnitostní rozbor je základním rozbohem pro určení druhu půdy.

V této metodice se využívá hustoměrné metody zrnitostního rozboru podle A. Casagrande. Podstatou zrnitostního rozboru je rozdílná rychlost pádu různě velkých zrn při jejich sedimentaci. V tomto rozboru se využívá rozdílné hustoty suspenze při usazování zrn, kdy se hustota této suspenze snižuje v čase. Tento jev se sleduje speciálním hustoměrem a postupné snižování hustoty je zapříčiněno usazováním zeminných částic.

Příprava jemnozeme

Pro vlastní hustoměrný rozbor je zapotřebí zajistit jemnozeme z odebraných vzorků. Předmětná zemina určená pro hustoměrný rozbor byla odebrána na místech odběru vzorků do Kopeckého válečků a ve stejných horizontech, a to tak, že přebytečná zemina z bezprostředního okolí umístění Kopeckého válečků byla odebrána v dostatečném množství do papírových sáčků a řádně popsána.

Z vlastní odebrané zeminy v sáčcích musí být odstraněny rostlinné zbytky a hrubší skelet, tento vzorek zeminy musí být dále zcela vysušen. Výchozím materiálem musí být jemnozeme I, což je zemina prosetá sítem s kruhovými otvory průměru dvou milimetrů. Příprava jemnozeme probíhá tak, aby nedocházelo k porušení, tj. rozbíjení jednotlivých zrn drcením, ale je nutné zajistit oddělení jednotlivých shluků pomocí tzv. roztírání. Postup spočívá v roztírání zeminy tloučkem v třecí misce a následném prosévání sítem.

Pomůcky

Vysušená jemnozem, odměrný válec, hustoměr, míchačka, destilovaná voda, dispergační činidlo, velká porcelánová miska, tyčinka, kahan, formulář pro zápis hustoměrných čtení Casagrande, tužka, stopky či hodiny s vteřinovou ručičkou

Kalibrace válce a hustoměru

Před samotným rozbořem je nutné provést kalibraci odměrného válce a hustoměru. Proces výroby odměrných válců a hustoměrů dovoluje odchylky u jednotlivých výrobků, proto je z tohoto důvodu nutné provést kalibraci jednoho konkrétního válce a jednoho konkrétního hustoměru neboli provést opravu hloubky měření. V případě opakování měření nebo vyhodnocování více vzorků najednou je nutné si vytvořit příslušné dvojce válců a hustoměrů, a tyto mezi sebou nezaměňovat.

Při práci používáme odměrný válec o objemu 1000 cm^3 , hustoměr určený pro metodu Casagrande, vhodnou nádobu s výstelkou pro odkládání hustoměru (např. kádinka vyložená vatou), pravítko, tužku a kalibrační tabulku, která je součástí formuláře pro zápis hustoměrných čtení Casagrande, která je přílohou této práce a je označena jako příloha č. 2.

Při práci s hustoměrem je zapotřebí držet jej vždy ve svislé poloze za stopku a je nutné jej vždy odkládat do připravené nádoby. Hustoměr je vyroben z velmi tenkého skla a při manipulaci s ním je zapotřebí dbát zvýšené opatrnosti. Při provádění tohoto rozboru včetně kalibrace je nutné zachování konstantní teploty v místnosti a zachování stejné teploty pomůcek a destilované vody. Teplotní rozdíly by mohly znamenat ovlivnění rozboru, a proto je nutné také zamezit nerovnoměrnému ohřevu pomůcek slunečním svitem nebo sálajícím teplem od kahanu.

Vlastní kalibrace

- 1) Odměří se délka stupnice hustoměru L mezi ryskami $1,000$ a $1,030$ v cm, s přesností na mm.
- 2) Určí se vnitřní průměrná průřezová plocha sedimentačního válce F dělením známého objemu pravidelného válce, tj. např. 900 cm^3 výškou, tj. délkou úseku mezi 100 a 1000 cm^3 v cm s přesností na mm (zde se neměří od nulové rysky na dně válce, ale až od rysky 100 cm^3 z důvodu obtížnosti).

- 3) Určí se objem hrušky hustoměru V . Do odměrného válce se nalije 900 cm^3 destilované vody (na dolní meniskus, přesně po rysku) a poté se vnoří hustoměr až po rysku 1,030 (také dolní meniskus, přesně). Objem vytlačené vody se nyní rovná objemu V hrušky hustoměru.
- 4) Nyní se určí menisková korekce. V předchozím bodě hladina vody protíná rysku hustoměru přesně na rysce 1,030. Kolem stonku hustoměru se vytvořil zvednutý meniskus. Jeho výška se určí v malých dílcích stupnice (obvykle bývá dva dílky, tj. menisková korekce bývá 0,4). Korekce se vždy přičítá. V případě této práce bylo užito hustoměrů s cejchováním na dolní meniskus, byl-li použit hustoměr s cejchováním na horní meniskus, korekce se neprovádí.
- 5) Určení poloviční délky hrušky hustoměru $h/2$. Hustoměr ponořený po rysku 1,030 se pomalu vynořuje, dokud hladina sloupce vody nepoklesne přesně na poloviční výšku sloupce (poloviční objem vody). Výška rysky 1,030 nad hladinou vody je přesně hledaná hodnota $h/2$. Tuto hodnotu změříme vhodným způsobem pomocí pravítka.
- 6) Všechny zjištěné hodnoty se zapíší do kalibrační tabulky. Po zápisu hodnot dojde k dopočtení zbývajících zápisových polí podle příslušného klíče v nadpisu jednotlivých sloupců. Dalším postupem je získání odpovídajících si hodnot ve sloupcích R a h_R , které slouží ke zhotovení stupnice na nomogramu pro určení velikosti částic, který je přílohou této práce jako příloha č. 3. Hodnoty h_R pro dosazení do sloupce kalibrační tabulky se vypočítají podle následujícího vzorce.

Vzorec pro výpočet

$$h_R = \frac{h}{2} - \frac{V}{2F} + \frac{S - R}{S} L \text{ [cm]}, \quad (8)$$

kde:

h_R hloubka umístění středu hrušky hustoměru s korekcí jejího klesnutí po vyjmutí hustoměru ze suspenze získaná výpočtem [cm]

h	délka hrušky hustoměru [cm]
V	objem hrušky hustoměru [cm ³]
F	průřezová plocha sedimentačního válce [cm ²]
S	počet velkých dílků stupnice hustoměru mezi ryskami 1,000 a 1,030
R	čtení na hustoměru
L	délka stupnice hustoměru mezi ryskami 1,000 a 1,030 [cm]

Preparace vzorku

Preparací vzorku se zamýšlí rozrušení shluků jednotlivých agregátů, které jsou spojeny organickými a anorganickými tmely. V této práci je zvolena mechanická preparační metoda následným vařením a roztíráním. Pro preparaci se používá z důvodu lepší desintegrace jednotlivých částic dispergační činidlo hexametafosforečnan sodný (35,2 g · dm⁻³) a destilovaná voda.

Nyní se zvolí navážka jemnozeme, která se vpraví do mísy a přilije se cca 200 cm³ destilované vody. Volba navážky závisí na typu půdy, a to na základě odhadu zrnitosti roztíráním mezi prsty. U jílovitých 15 – 30 g, u hlinitých 30 – 50 g a u písčitých nad 50 g (u extrémně lehkých půd až 100 g). V této práci byla navážka zvolena jednotně 80 g. Do mísy se dále vpraví dispergační činidlo v množství 10 cm³ na 10 g navážky. Takto vzniklá suspenze se pečlivě promíchá a nechá nějakou dobu odstát.

Tato suspenze se nyní vaří nad kahanem po dobu cca 1 hodiny, minimálně však 30 minut, a to za občasného míchání a dolévání odpařené destilované vody na přibližnou původní hustotu suspenze. Tato suspenze se po ukončeném vaření nechá volně zchladnout.

Vlastní rozbor

Na počátku vlastního rozboru je nutné mít připravené všechny pomůcky, připravené kalibrované dvojice hustoměřů a odměrných válců, připravenou tabulku pro zápis čtení přístroj pro měření času. Neméně důležitou součástí je jistá praxe pro přesné čtení dat na hustoměru a odměrném válci.

Připravenou suspenzi, která byla vařena předepsaným postupem, je nutné pečlivě rozmíchat a vpravit do odměrného válce. Je vhodné si pomáhat tyčinkou a stříčkou

s destilovanou vodou. Je nutné klást důraz na vpravení celého obsahu zeminy do válce beze zbytku, a to až do zcela vyprázdňené, téměř čisté, mísy. Tato vpravená suspenze se ve válci dolije do plného objemu 1000 cm^3 destilovanou vodou.

Nyní je nutné zvolení času nula s dostatečným předstihem nutným pro přípravu a připravit se na čtení hustoměru ve stanovených intervalech od času nula, tj. ve 30'', 1', 2', 5', 15', 45', případně 120' a 300'.

Jednu minutu před časem nula se začne s mícháním suspenze ve válci pomocí míchačky vertikálními pohyby. Ukončení míchání je přesně v čase nula a míchačka se bez oplachování ihned volně odloží.

Okamžitě po odložení míchačky v čase nula se začíná s měřením, tj. hustoměr se uchopí lehce za stonek dvěma prsty a pomalu se vloží do válce, a to tak aby byl úplně vložen – válec se zastaví. Hustoměr se opatrně uvolní, v případě houpání či otáčení se uklidní a začíná se s měřením a zápisem přesně ve 30''. Následuje měření v 1' a 2' od času nula, kdy je hustoměr stále v suspenzi. Po tomto třetím měření se hustoměr opatrně vyjme, opláchne, osuší a odloží do připravené nádoby s vatou.

Při následných měřeních v 5', 15', 45' se hustoměr pomalu vloží do suspenze vždy minutu před měřením, provede se měření a poté se znovu pomalu vyjme, opláchne a osuší. Při čtení se čte vždy horní meniskus. Čtení je do tabulky pro zápis čtení zapisováno vždy jako tisícínásobek části čísla za desetinou čarou, tj. pro rysky 1,000 a 1,030 náleží zápis čtení 0 a 30. Pro zpřesnění se jedná o stupnici s třiceti velkými dílky, z nichž je každý rozdělen na pět dílků malých. Např. při čtení hodnoty 1,0204 se zapisuje hodnota 20,4, je to shora dvacet velkých dílků a dva malé dílky. Nejdříve je vhodné číst malé dílky a následně velké.

V případě této práce je uvažováno s konstantní teplotou $22 \text{ }^\circ\text{C}$, není tedy třeba uvažovat s teplotní korekcí na nomogramu.

Vyhodnocování

K dispozici je nutná vyplněná tabulka zápisu čtení včetně kalibrační tabulky, viz příloha č. 2, a také nomogram k určení velikosti částic, který je zpracován podle Stokesova vzorce a je přílohou této práce jako příloha č. 3.

Postup při nomografování je graficky znázorněn na tomto nomogramu.

- 1) Spojnice zjištěné hodnoty měrné hmotnosti (hodnotu měrné hmotnosti přejímáme z průměrné hodnoty vzorku s opakováním zjištěné u příslušného rozboru neporušeného válečku) na stupnici s a hodnoty teploty suspenze na stupnici t (uvažujeme konstantních 22 °C) protne pomocnou stupnici A , tj. vznik bodu č. 3. V případě jedné tabulky z této práce uvažujeme bod A pro všechna čtení stejný.
- 2) Hodnota čtení R s připočtenou meniskovou korekcí, tj. nyní bod č. 4 na stupnici R , se spojí s příslušným časem provedeního čtení na stupnici T (vznik bodu č. 5). Prodloužená spojnice bodů č. 4 a č. 5 protíná stupnici v v bodě č. 6.
- 3) Spojnice bodů č. 6 a č. 3 protíná stupnici d v bodě č. 7, tj. v hledané hodnotě průměru zrn.

Tento postup se provede pro všechna čtení a průměry zrn se zapíše. Procentické zastoupení zrn daného průměru a všech menších se provede podle empirického vzorce.

Vzorec pro výpočet

$$Z_i = \frac{100}{N} \frac{s}{s-1} (R + c + t) [\%], \quad (9)$$

kde:

- Z_i procentické zastoupení zrn [%]
- i index, znamenající první až i -té čtení
- N navážka pro rozbor [g]
- s měrná (specifická) hmotnost zeminy, také jako M_z [g · cm³]
- R čtení na hustoměru (horní meniskus)
- c menisková korekce (při použití hustoměru cejchovaného na horní meniskus se neuvažuje)
- t teplotní korekce (uvedena na stupnici nomogramu, pro danou teplotu se uvažuje nejbližší možná)

4 Objekt měření

Jako vhodný objekt k měření byl vybrán pozemek, který je obděláván v rámci pěstební činnosti rodinné farmy. Tento pozemek se nachází v Plzeňském kraji, v okrese Domažlice, katastrální území Vránov. Pozemek se nachází v těsné blízkosti řeky Radbuzy, v minulosti byl intenzivně obhospodařován v rámci zemědělské prvovýroby, a to především při pěstování pšenice ozimé, ječmene jarního, řepky olejky a kukuřice. V současné době se na vybraném pozemku nachází výsadba jahodníku druhým rokem.

Pozemek se nachází v obilnářské výrobní oblasti, jeho průměrná nadmořská výška je 363,28 m. n. m., jeho průměrná sklonitost je 1,53°. Předmětný obhospodařovaný díl půdního bloku má výměru 1,50 ha, označení dílu půdního bloku, dále DPB, číslo 9801/7 (Registr půdy – LPIS, ©2009-2020).

Snímek tohoto předmětného pozemku včetně vyznačení hranic DPB lze spatřit v aplikaci LPIS Ministerstva zemědělství. Hranice tohoto DPB jsou označeny modře, viz obrázek č. 7.



Obrázek č. 7 - Náhled aplikace LPIS s vyznačením DPB; © MZe, 2020

Obecnou charakteristiku tohoto pozemku lze získat pomocí mapových podkladů na základě BPEJ – Bonitované půdně ekologické jednotky.

Kód BPEJ, bonitovaná půdně ekologická jednotka, slouží k hodnocení relativní a absolutní schopnosti produkce na zemědělských půdách a dále pomáhá ji co nejlépe využít. V kódu BPEJ je v první číslici zafixována příslušnost ke klimatickému regionu, druhá a třetí číslice označuje zařazení půdy do hlavní půdní jednotky

klasifikační soustavy (HPJ). Čtvrtou číslicí se označuje kombinace sklonitosti a příslušnosti ke světovým stranám a pátou číslicí se označuje kombinace hloubky půdy a skeletovitosti půdního profilu (EKATALOG BPEJ, ©2020).

Tímto dílem půdního bloku procházejí hned čtyři rozhraní BPEJ: 4.26.11, 4.45.11, 4.15.00 a 5.58.00. Průběh hranic jednotlivých rozhraní BPEJ je zřejmý z webové aplikace komplexního průzkumu půd Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v. v. i., viz obrázek č. 8.



Obrázek č. 8 - Náhled webové aplikace komplexního průzkumu půd; © VÚMOP, 2019

Na základě charakteru předmětného pozemku byla vybrána čtyři místa odběru vzorků, a to tak, aby se každé odběrné místo nacházelo v jiné vymezené oblasti podle BPEJ. Tato místa odběru pro účely experimentálního měření v rámci této práce jsou na obrázku vyznačena červeně. Pro porovnání je vhodné využít dostupné údaje z provedené půdní sondy v rámci komplexního průzkumu půd z roku 1970, kdy umístění této sondy v mapě VÚMOP je označeno žlutě.

4.1 Charakteristika BPEJ 4.26.11

Obecná charakteristika zde uvádí, že se jedná o půdy málo produkční z hlediska výnosnosti a průměrně produkční půdy, využitelné v územním plánování z hlediska ochrany zemědělského půdního fondu.

Klimatický region zde označen č. 4, mírně teplý, suchý.

Hlavní půdní jednotka zde označena č. 26. Označení půdotvorného substrátu: břidlice, fylity, hadce. Skupinou půdních typů jsou kambizemě. Genetický půdní představitel dle KPP: kambizem modální eubazická, kambizem modální mesobazická.

Hydropedologické charakteristiky uvádějí, že se zde nachází půdy se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité. Hydrologickou skupinou jsou zde půdy označené písmenem B se střední rychlostí infiltrace, s rozsahem hodnot $0,1-0,2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Schopnost infiltrace a propustnost půdy střední, s rozsahem hodnot $0,10-0,15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Retenční vodní kapacita střední v rozmezí $160-220 \text{ l m}^{-2}$. Využitelná vodní kapacita střední v rozmezí $110-149 \text{ l m}^{-2}$.

Označení sklonitosti a expozice č. 1, mírný sklon v rozsahu $3-7^\circ$, expozice všesměrová.

Označení skeletovitosti a hloubky půdy č. 1, kde je skeletovitost bezskeletovitá, s příměsí, či slabě skeletovitá s celkovým obsahem skeletu do 25 %, a hloubka půdy hluboká či středně hluboká s hloubkou od 30 cm.

4.2 Charakteristika BPEJ 4.45.11

Obecná charakteristika zde uvádí, že se jedná o půdy málo produkční z hlediska výnosnosti a průměrně produkční půdy, využitelné v územním plánování z hlediska ochrany zemědělského půdního fondu.

Klimatický region zde označen č. 4, mírně teplý, suchý.

Hlavní půdní jednotka zde označena č. 45. Označení půdotvorného substrátu: svahoviny s celkovou příměsí. Skupinou půdních typů jsou pseudogleje. Genetický půdní představitel dle KPP: hnědozem oglejená.

Hydropedologické charakteristiky uvádějí, že se zde nachází půdy s nízkou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité. Hydrologickou skupinou jsou zde půdy označené písmenem C s nízkou rychlostí infiltrace, s rozsahem hodnot 0,05–0,10 mm · min⁻¹. Schopnost infiltrace a propustnost půdy nižší střední, s rozsahem hodnot 0,05–0,10 mm · min⁻¹. Retenční vodní kapacita vyšší střední v rozmezí 220–320 l · m⁻². Využitelná vodní kapacita vyšší střední v rozmezí 150–199 l · m⁻².

Označení sklonitosti a expozice č. 1, mírný sklon v rozsahu 3–7 °, expozice všesměrová.

Označení skeletovitosti a hloubky půdy č. 1, kde je skeletovitost bezskeletovitá, s příměsí, či slabě skeletovitá s celkovým obsahem skeletu do 25 %, a hloubka půdy hluboká či středně hluboká s hloubkou od 30 cm.

4.3 Charakteristika BPEJ 4.15.00

Obecná charakteristika zde uvádí, že se jedná o půdy méně produkční z hlediska výnosnosti, ale nadprůměrně produkční půdy, vysoce chráněné, z hlediska ochrany zemědělského půdního fondu.

Klimatický region zde označen č. 4, mírně teplý, suchý.

Hlavní půdní jednotka zde označena č. 15. Označení půdotvorného substrátu: svahoviny s eolickou příměsí. Skupinou půdních typů jsou luvizemě. Genetický půdní představitel dle KPP: luvizem modální, hnědozem luvická, luvizem modální slabě oglejená, hnědozem luvická slabě oglejená, kambizem luvická, kambizem modální, kambizem modální slabě oglejená.

Hydropedologické charakteristiky uvádějí, že se zde nachází půdy se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité. Hydrologickou skupinou jsou zde půdy označené písmenem B se střední rychlostí infiltrace, s rozsahem hodnot 0,1–0,2 mm · min⁻¹. Schopnost infiltrace a propustnost půdy střední, s rozsahem hodnot 0,10 – 0,15 mm · min⁻¹. Retenční vodní kapacita vysoká od 320 l · m⁻². Využitelná vodní kapacita vysoká od 200 l · m⁻².

Označení sklonitosti a expozice č. 0, úplná rovina či sklon v rozsahu 0 – 3 °, expozice všesměrová.

Označení skeletovitosti a hloubky půdy č. 0, kde je skeletovitost bezskeletovitá, či s příměsí s celkovým obsahem skeletu do 10 %, a hloubka půdy hluboká s hloubkou od 60 cm.

4.4 Charakteristika BPEJ 5.58.00

Obecná charakteristika zde uvádí, že se jedná o půdy málo produkční z hlediska výnosnosti, ale nadprůměrně produkční půdy, vysoce chráněné, z hlediska ochrany zemědělského půdního fondu.

Klimatický region zde označen č. 5, mírně teplý, mírně vlhký.

Hlavní půdní jednotka zde označena č. 58. Označení půdotvorného substrátu: koluviální a nivní sedimenty. Skupinou půdních typů jsou fluvizemě. Genetický půdní představitel dle KPP: fluvizem glejová a fluvizem oglejená.

Hydropedologické charakteristiky uvádějí, že se zde nachází půdy s nízkou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité. Hydrologickou skupinou jsou zde půdy označené písmenem C s nízkou rychlostí infiltrace, s rozsahem hodnot 0,05–0,10 mm · min⁻¹. Schopnost infiltrace a propustnost půdy nižší střední, s rozsahem hodnot 0,05–0,10 mm · min⁻¹. Retenční vodní kapacita střední s rozsahem 160–220 l · m⁻². Využitelná vodní kapacita vysoká od 200 l · m⁻².

Označení sklonitosti a expozice č. 0, úplná rovina či sklon v rozsahu 0–3 °, expozice všesměrová.

Označení skeletovitosti a hloubky půdy č. 0, kde je skeletovitost bezskeletovitá, či s příměsí s celkovým obsahem skeletu do 10 %, a hloubka půdy hluboká s hloubkou od 60 cm.

4.5 Komplexní průzkum půd v roce 1970

V průběhu zjišťování dalších informací o objektu měření lze narazit na materiály při provádění komplexního průzkumu půd, zkratka KPP. Jednalo se tehdy o celostátní

organizovanou terénní pedologickou činností, jejíž výstupy byly zásadní pro určování ceny půdy a pro následné činnosti vedoucí k ochraně zemědělského půdního fondu.

Tento průzkum byl zahájen na podkladě vládního usnesení č. 11 z roku 1961 o provedení Komplexního průzkumu půd, které vydalo Ministerstvo zemědělství, lesního a vodního hospodářství, a vyhlášky č. 47/1961, která určuje účel a pojem tohoto průzkumu. V rámci plánu byl průběh tohoto průzkumu stanoven na 10 let. Materiály, které máme k dispozici k objektu měření v rámci této práce pochází z pedologické činnosti v roce 1970.

Půdní sonda 1. Z – 37

V okolí předmětného pozemku se nachází místo, kde byla provedena půdní sonda v rámci KPP v roce 1970. Tato sonda je vzdálená od hranice předmětného pozemku 150 m. Tato sonda náleží do části pozemku s kódem BPEJ 4.15.00.

Kód sondy: 311021; sonda č. 37; popis sondy: Sonda 1.; typ sondy: základní. Půdní typ: hnědozem illimerizovaná; Půdotvorný substrát: svahoviny, těžké hlíny až hlinité písky s drobnějším skeletem – z kyselého materiálu. Datum průzkumu: 1970; rostlinný kryt v době průzkumu: ornice.

Dostupné jsou informace ze dvou horizontů:

- 1) 1. horizont: hloubka 0–20 cm, barva šedá, struktura drobtová, druh hlinitá. Rozbor zrnitostní frakce 28,20.
- 2) 2. horizont: hloubka 20–38 cm, barva šedohnědá, struktura polyedrická, druh hlinitá. Rozbor zrnitostní frakce 30,30 (WAKPP, ©2007-2019).

5 Výsledky a jejich hodnocení

Data získaná v rámci rozboru neporušeného válečku jsou zpracována níže a jsou přehledně uvedena, viz tabulky č. 3–14.

Výsledky rozboru (průměry hodnot ze tří válečků v těsné blízkosti)

Odběrné místo dle BPEJ: 4.26.11

Hloubka 0–15 cm

M_Z [g · cm ⁻³]	Měrná hmotnost	2,66
MKK [%]	Max. kapilární vodní kapacita	19,10
RVK ₂₄ [%]	Retenční vodní kapacita (24 h)	16,46
P _C [%]	Pórovitost celková	40,10
P _K [%]	Pórovitost kapilární	16,46
P _N [%]	Pórovitost nekapilární	20,30
MKK _{VZ} [%]	Max. vzdušná kapacita p.	21,00
RVK _{24VZ} [%]	Retenční vzdušná kapacita p.	23,63

Tabulka č. 3 - Výsledky rozboru válečků 4.26.11/1

Odběrné místo dle BPEJ: 4.26.11

Hloubka 15–30 cm

M_Z [g · cm ⁻³]	Měrná hmotnost	2,65
MKK [%]	Max. kapilární vodní kapacita	16,37
RVK ₂₄ [%]	Retenční vodní kapacita (24 h)	13,96
P _C [%]	Pórovitost celková	35,22
P _K [%]	Pórovitost kapilární	13,96
P _N [%]	Pórovitost nekapilární	18,15
MKK _{VZ} [%]	Max. vzdušná kapacita p.	18,85
RVK _{24VZ} [%]	Retenční vzdušná kapacita p.	21,26

Tabulka č. 4 - Výsledky rozboru válečků 4.26.11/2

Odběrné místo dle BPEJ: 4.26.11

Hloubka 30-45 cm

M_Z [g · cm ⁻³]	Měrná hmotnost	2,50
MKK [%]	Max. kapilární vodní kapacita	22,24
RVK ₂₄ [%]	Retenční vodní kapacita (24 h)	17,99
P _C [%]	Pórovitost celková	32,67
P _K [%]	Pórovitost kapilární	17,99
P _N [%]	Pórovitost nekapilární	9,36
MKK _{VZ} [%]	Max. vzdušná kapacita p.	10,43
RVK _{24vz} [%]	Retenční vzdušná kapacita p.	14,67

Tabulka č. 5 - Výsledky rozboru válečků 4.26.11/3

Odběrné místo dle BPEJ: 4.45.11

Hloubka 0–15 cm

M_Z [g · cm ⁻³]	Měrná hmotnost	2,34
MKK [%]	Max. kapilární vodní kapacita	19,59
RVK ₂₄ [%]	Retenční vodní kapacita (24 h)	17,42
P _C [%]	Pórovitost celková	27,06
P _K [%]	Pórovitost kapilární	17,42
P _N [%]	Pórovitost nekapilární	7,03
MKK _{VZ} [%]	Max. vzdušná kapacita p.	7,48
RVK _{24vz} [%]	Retenční vzdušná kapacita p.	9,64

Tabulka č. 6 - Výsledky rozboru válečků 4.45.11/1

Odběrné místo dle BPEJ: 4.45.11

Hloubka 15–30 cm

M_Z [g · cm ⁻³]	Měrná hmotnost	2,38
MKK [%]	Max. kapilární vodní kapacita	10,49
RVK ₂₄ [%]	Retenční vodní kapacita (24 h)	8,85
P _C [%]	Pórovitost celková	29,55
P _K [%]	Pórovitost kapilární	8,85

P_N [%]	Pórovitost nekapilární	18,70
MKK_{VZ} [%]	Max. vzdušná kapacita p.	17,61
RVK_{24vz} [%]	Retenční vzdušná kapacita p.	20,70

Tabulka č. 7 - Výsledky rozboru válečků 4.45.11/2

Odběrné místo dle BPEJ: 4.45.11

Hloubka 30–45 cm

M_Z [$g \cdot cm^{-3}$]	Měrná hmotnost	2,68
MKK [%]	Max. kapilární vodní kapacita	18,62
RVK_{24} [%]	Retenční vodní kapacita (24 h)	15,50
P_C [%]	Pórovitost celková	39,68
P_K [%]	Pórovitost kapilární	15,50
P_N [%]	Pórovitost nekapilární	20,27
MKK_{VZ} [%]	Max. vzdušná kapacita p.	21,05
RVK_{24vz} [%]	Retenční vzdušná kapacita p.	24,17

Tabulka č. 8 - Výsledky rozboru válečků 4.45.11/3

Odběrné místo dle BPEJ: 4.15.00

Hloubka 0–15 cm

M_Z [$g \cdot cm^{-3}$]	Měrná hmotnost	2,35
MKK [%]	Max. kapilární vodní kapacita	24,61
RVK_{24} [%]	Retenční vodní kapacita (24 h)	19,49
P_C [%]	Pórovitost celková	30,22
P_K [%]	Pórovitost kapilární	19,49
P_N [%]	Pórovitost nekapilární	4,07
MKK_{VZ} [%]	Max. vzdušná kapacita p.	5,61
RVK_{24vz} [%]	Retenční vzdušná kapacita p.	10,73

Tabulka č. 9 - Výsledky rozboru válečků 4.15.00/1

Odběrné místo dle BPEJ: 4.15.00

Hloubka 15–30 cm

M_Z [g · cm ⁻³]	Měrná hmotnost	2,72
MKK [%]	Max. kapilární vodní kapacita	18,46
RVK ₂₄ [%]	Retenční vodní kapacita (24 h)	16,65
P _C [%]	Pórovitost celková	36,28
P _K [%]	Pórovitost kapilární	16,65
P _N [%]	Pórovitost nekapilární	17,29
MKK _{VZ} [%]	Max. vzdušná kapacita p.	17,82
RVK _{24VZ} [%]	Retenční vzdušná kapacita p.	19,63

Tabulka č. 10 - Výsledky rozboru válečků 4.15.00/2

Odběrné místo dle BPEJ: 4.15.00

Hloubka 30–45 cm

M_Z [g · cm ⁻³]	Měrná hmotnost	2,66
MKK [%]	Max. kapilární vodní kapacita	19,88
RVK ₂₄ [%]	Retenční vodní kapacita (24 h)	18,03
P _C [%]	Pórovitost celková	31,71
P _K [%]	Pórovitost kapilární	18,03
P _N [%]	Pórovitost nekapilární	11,36
MKK _{VZ} [%]	Max. vzdušná kapacita p.	11,83
RVK _{24VZ} [%]	Retenční vzdušná kapacita p.	13,67

Tabulka č. 11 - Výsledky rozboru válečků 4.15.00/3

Odběrné místo dle BPEJ: 5.58.00

Hloubka 0–15 cm

M_Z [g · cm ⁻³]	Měrná hmotnost	2,35
MKK [%]	Max. kapilární vodní kapacita	22,03
RVK ₂₄ [%]	Retenční vodní kapacita (24 h)	15,17
P _C [%]	Pórovitost celková	38,16
P _K [%]	Pórovitost kapilární	15,17

P _N [%]	Pórovitost nekapilární	13,45
MKK _{vz} [%]	Max. vzdušná kapacita p.	16,12
RVK _{24vz} [%]	Retenční vzdušná kapacita p.	22,99

Tabulka č. 12 - Výsledky rozboru válečků 5.58.00/1

Odběrné místo dle BPEJ: 5.58.00

Hloubka 15–30 cm

M _Z [g · cm ⁻³]	Měrná hmotnost	2,50
MKK [%]	Max. kapilární vodní kapacita	17,96
RVK ₂₄ [%]	Retenční vodní kapacita (24 h)	14,35
P _C [%]	Pórovitost celková	22,53
P _K [%]	Pórovitost kapilární	14,35
P _N [%]	Pórovitost nekapilární	3,45
MKK _{vz} [%]	Max. vzdušná kapacita p.	4,57
RVK _{24vz} [%]	Retenční vzdušná kapacita p.	8,18

Tabulka č. 13 - Výsledky rozboru válečků 5.58.00/2

Odběrné místo dle BPEJ: 5.58.00

Hloubka 30–45 cm

M _Z [g · cm ⁻³]	Měrná hmotnost	2,48
MKK [%]	Max. kapilární vodní kapacita	19,92
RVK ₂₄ [%]	Retenční vodní kapacita (24 h)	16,98
P _C [%]	Pórovitost celková	25,13
P _K [%]	Pórovitost kapilární	16,98
P _N [%]	Pórovitost nekapilární	4,35
MKK _{vz} [%]	Max. vzdušná kapacita p.	5,22
RVK _{24vz} [%]	Retenční vzdušná kapacita p.	8,16

Tabulka č. 14 - Výsledky rozboru válečků 5.58.00/3

Získaná data na základě rozboru neporušeného válečku vyjadřují kromě zjišťovaných hodnot pro určení měrné hmotnosti, objemové hmotnosti a pórovitosti, také další doprovodné charakteristiky. Na základě těchto údajů lze pozorovat různé vlastnosti v půdy v závislosti na určitých hloubkách a místech odběrů.

Jako vhodná data ke sledování odlišných vlastností mezi odběrnými místy a hloubkami jsou zde hodnoty označené RVK_{24vz.}

Retenční vzdušná kapacita pórů zde byla v rozmezí 9,64–23,64 % v hloubkách 0–15 cm, 8,18–21,26 % v hloubkách 15–30 cm a 8,16–24,17 % v hloubkách 30–45 cm. Rozdíly mezi jednotlivými odběrnými místy jsou značné, lze zde spatřovat zmenšování hodnot retenční vzdušné kapacity ve směru od severu k jihu.

5.1 Objemová hmotnost

Pro výsledky rozboru půd při měření objemové hmotnosti půd se uvažuje objemová hmotnost redukovaná, která je vyjadřuje objemovou hmotnost vysušeného vzorku a je stálejší než objemová hmotnost neredukovaná, což je objemová hmotnost vzorku vlhké půdy. Neredukovaná objemová hmotnost tedy nemůže být konstantní, stále se vyvíjí, a proto pro účely rozborů užíváme objemovou hmotnost redukovanou. Objemová hmotnost redukovaná byla v této práci stanovena pyknometricky a je určující pro určení pórovitosti dané půdy.

Získaná data objemové hmotnosti redukované pro jednotlivé vzorky jsou uvedena v následující tabulce, viz tabulka č. 15.

Vzorek	O _R [g·cm ⁻³]	Vzorek	O _R [g·cm ⁻³]	Vzorek	O _R [g·cm ⁻³]	Vzorek	O _R [g·cm ⁻³]
26/1 a	1,59	45/1 a	1,67	15/1 a	1,56	58/1 a	1,39
26/1 b	1,56	45/1 b	1,79	15/1 b	1,69	58/1 b	1,58
26/1 c	1,63	45/1 c	1,66	15/1 c	1,67	58/1 c	1,39
26/2 a	1,75	45/2 a	1,62	15/2 a	1,74	58/2 a	1,89
26/2 b	1,65	45/2 b	1,66	15/2 b	1,64	58/2 b	1,93
26/2 c	1,75	45/2 c	1,75	15/2 c	1,82	58/2 c	1,99
26/3 a	1,76	45/3 a	1,63	15/3 a	1,72	58/3 a	1,87
26/3 b	1,72	45/3 b	1,62	15/3 b	1,79	58/3 b	1,85
26/3 c	1,60	45/3 c	1,60	15/3 c	1,94	58/3 c	1,85

Tabulka č. 15 - Získané hodnoty objemové hmotnosti redukované

Označení jednotlivých popisů jednotlivých vzorků bylo zjednodušeno, kdy z kódu BPEJ byl užit pouze prostřední kód hlavní půdní jednotky pro rozlišení odběrného místa, arabskou číslicí za lomítkem byla vzestupně označena hloubka odběru a malým

písmenem je označeno opakování, kdy byly odebrány tři Kopeckého válečky v těsné blízkosti.

Při získání objemové hmotnosti půdy lze posoudit její ulehlost. Posouzení lze vyjádřit na základě níže uvedených hodnot [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$].

Pro orniční vrstvu

< 0,95	čerstvě nakypřená, obohacená humusem
0,95 – 1,15	kyprá
1,15 – 1,25	slabě ulehlá
> 1,25	silně ulehlá

Pro podorniční vrstvu

< 1,2	velmi kyprá
1,2 – 1,35	slabě ulehlá
1,35 – 1,45	ulehlá
> 1,45	silně ulehlá

Pro spodinu

< 1,35	velmi kyprá
1,35 – 1,5	ulehlá
> 1,5	silně ulehlá

Z hodnot uvedených v tabulce je zřejmé, že půda je velmi silně ulehlá, a to ve všech půdních horizontech.

5.2 Měrná hmotnost půdy

Výsledky měrné hmotnosti byly získány na základě rozboru neporušeného válečku, jejíž hodnoty jsou uvedeny výše, viz tabulky č. 3–14.

Průměry měrných hmotností půdy v jednotlivých místech odběru lze spatřit níže, viz tabulka č. 16.

Odběrné místo dle BPEJ	Průměrná hodnota M_z [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]
4.26.11	2,60
4.45.11	2,47
4.15.00	2,58
5.58.00	2,44

Tabulka č. 16 - Průměry měrných hmotností půdy dle odběrných míst

Vyhodnocení získaných měrných hmotností půdy musí být při správném postupu v rozmezí podle níže stanovených hodnot pro jednotlivé horizonty [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$].

< 2,0	rašelinné horizonty
2,0 – 2,4	zrašeliněné horizonty
2,4 – 2,5	silně humózní horizonty
2,5 – 2,6	povrchově humózní horizonty
2,6 – 2,7	hlinité horizonty s cca 1 % humusu
2,7 – 2,8	železem obohacené iluviální horizonty

Dle odhadu by výsledek pokusu našeho vzorku měl být v rozmezí silně až povrchově humózních horizontů (2,4–2,6 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

Průměrné výsledky rozborů jsou v rozmezí 2,44–2,60 [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]. Tyto výsledky odpovídají předpokladu a lze označit postup jejich získání za správný. Dle získaných dat lze označit horizonty za povrchově humózní.

Hodnoty měrné hmotnosti půdy ovlivňuje její minerální složení a získaná data vypovídají o zastoupení organického podílu v půdě. Zjištěné rozmezí hodnot je typické pro zemědělsky využívané půdy

5.3 Pórovitost

Získaná data pórovitosti jsou zpracována v následující tabulce, viz tabulka č. 17.

Vzorek	P [% obj.]	Vzorek	P [% obj.]	Vzorek	P [% obj.]	Vzorek	P [% obj.]
26/1 a	40,23	45/1 a	28,63	15/1 a	33,62	58/1 a	40,85
26/1 b	41,35	45/1 b	23,50	15/1 b	28,09	58/1 b	32,77

26/1 c	38,72	45/1 c	29,06	15/1 c	28,94	58/1 c	40,85
26/2 a	33,96	45/2 a	31,93	15/2 a	36,03	58/2 a	24,40
26/2 b	37,74	45/2 b	30,25	15/2 b	39,71	58/2 b	22,80
26/2 c	33,96	45/2 c	26,47	15/2 c	33,09	58/2 c	20,40
26/3 a	29,60	45/3 a	39,18	15/3 a	35,34	58/3 a	24,60
26/3 b	31,20	45/3 b	39,55	15/3 b	32,71	58/3 b	25,40
26/3 c	36,00	45/3 c	40,30	15/3 c	27,07	58/3 c	25,40

Tabulka č. 17 - Získaná data pórovitosti půdy

Ze samotného získání hodnot pórovitosti lze určit ulehlost dané půdy v půdním profilu. Optimální hodnoty pórovitosti jsou v rozmezí 50–65 [% obj.] pro orniční vrstvu a 47–50 [% obj.] pro spodinu. Při hodnotách menších než 45 [% obj.] pro orniční a podorniční vrstvu a 35 [% obj.] pro spodinu se hovoří o velmi ulehle půdě.

Na základě experimentálně získaných dat v této práci lze jednoznačně říci, že se jedná o půdu velmi ulehlou ve všech měřených horizontech.

Hodnocení skladby pórů

Na základě určení pórovitosti lze určit zastoupení kapilárních pórů. Optimálního zastoupení kapilárních pórů je dosaženo přibližně při jejich zastoupení ze 2/3 pórovitosti. Zbytek by měl být rozdělen mezi nekapilární a semikapilární póry cca na dvě poloviny.

Hodnoty získané experimentálním měřením rozdělené na póry kapilární P_K , semikapilární P_S a nekapilární P_N jsou čtenářům přiblíženy v tabulce č. 18.

Vzorek	P_K [% obj.]	P_S [% obj.]	P_N [% obj.]	Vzorek	P_K [% obj.]	P_S [% obj.]	P_N [% obj.]
26/1 a	15,66	3,70	20,87	15/1 a	18,03	6,86	8,73
26/1 b	17,77	2,94	20,64	15/1 b	19,73	6,56	1,80
26/1 c	15,97	3,36	19,39	15/1 c	20,71	6,55	1,68
26/2 a	14,47	2,62	16,87	15/2 a	14,47	2,25	19,31
26/2 b	13,56	3,46	20,72	15/2 b	18,36	2,16	19,19
26/2 c	13,86	3,25	16,85	15/2 c	17,12	2,61	13,36
26/3 a	17,99	5,10	6,51	15/3 a	18,69	2,25	14,40

26/3 b	19,02	6,26	5,92	15/3 b	17,92	2,03	12,76
26/3 c	16,97	4,58	14,45	15/3 c	17,49	2,65	6,93
45/1 a	16,91	2,27	9,45	58/1 a	14,97	8,27	17,61
45/1 b	19,31	3,27	0,92	58/1 b	15,81	10,62	6,34
45/1 c	16,05	2,28	10,73	58/1 c	14,73	9,73	16,39
45/2 a	8,65	1,87	21,41	58/2 a	14,04	6,09	4,27
45/2 b	8,45	2,15	19,65	58/2 b	15,56	4,15	3,09
45/2 c	9,44	2,01	15,02	58/2 c	13,45	3,97	2,98
45/3 a	15,35	3,55	20,28	58/3 a	16,37	4,82	3,41
45/3 b	15,99	4,29	19,27	58/3 b	17,01	3,59	4,80
45/3 c	15,17	3,88	21,25	58/3 c	17,55	3,03	4,82

Tabulka č. 18 - Výsledky měření pórovitosti dle skladby pórů

Nadbytečné zastoupení kapilárních pórů působí komplikace při průniku vody do půdy (infiltraci), tj. půda se provlhuje do malé hloubky, přijímá jen omezeně srážky a zvyšuje se odtok vody na povrchu. Tato půda je náchylnější k erozi, je zde nižší provzdušenost půdy a takto zavlažená půda rychle vysychá.

Nedostatečné zastoupení kapilárních pórů má za následek malou jímavost vláhy a tím způsobuje nedostatek vody v půdě pro vegetaci.

Semikapilární póry umožňují dobré vnikání vody do půdy. Tuto vláhu omezeně zadržují a díky tomu podporují nasycení kapilárních pórů i ve větších hloubkách.

Nekapilární póry nedokáží vázat vodu, voda se dokonale vsakuje, rychle proniká do hloubky. Při větším zastoupení těchto pórů voda nestačí být jímána kořeny a ztrácí se ve spodině. Možná zásoba vláhy v této půdě je nedostačující.

Na základě zjištěných výsledků je jednoznačné, že optimálního zastoupení jednotlivých skupin pórů není dosaženo. Kapilárních pórů je zde menší množství, než by bylo potřebné a zastoupení semikapilárních pórů není vysoké. Oproti tomu je zde vysoký podíl zastoupení pórů nekapilárních, a i přes některé patrné rozdíly mezi jednotlivými horizonty lze konstatovat, že tento problém se týká celého pozemku.

5.4 Zrnitostní rozbor

Při zjišťování výsledků měření zrnitostního rozboru hustoměrnou metodou podle A. Casagrande bylo cílem určit obsažené jednotlivé zrnitostní frakce podle velikosti jednotlivých zrn a zjistit jejich procentické zastoupení v daném vzorku půdy.

Zjištěné skupiny jednotlivých zrnitostních frakcí a jejich procentická zastoupení jsou patrné níže, viz následující tabulky č. 19 – 22. Procentická zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí jsou součtové hodnoty zastoupení zrn z daného objemu ve vzorku jejich dané určité velikosti a všech menších. Procentuální součet všech získaných dat tedy přirozeně nedává sto procent.

Vzorek 26/1		Vzorek 26/2		Vzorek 26/3	
velikost zrn [mm]	zastoupení zrn [%]	velikost zrn [mm]	zastoupení zrn [%]	velikost zrn [mm]	zastoupení zrn [%]
0,045	66,50	0,043	61,83	0,045	68,33
0,032	63,30	0,032	57,02	0,034	64,58
0,025	56,08	0,025	50,59	0,025	57,92
0,018	44,87	0,019	40,95	0,018	45,83
0,0115	33,65	0,012	31,32	0,0125	34,58
0,0068	26,04	0,007	25,50	0,0075	27,92

Tabulka č. 19 - Výsledky zrnitostního rozboru 4.26.11

Vzorek 45/1		Vzorek 45/2		Vzorek 45/3	
velikost zrn [mm]	zastoupení zrn [%]	velikost zrn [mm]	zastoupení zrn [%]	velikost zrn [mm]	zastoupení zrn [%]
0,050	68,10	0,062	68,12	0,045	65,40
0,036	63,30	0,045	65,97	0,031	60,82
0,026	57,19	0,035	58,21	0,025	53,44
0,019	44,97	0,022	45,27	0,018	42,67
0,0135	34,49	0,014	32,34	0,0115	31,51
0,0075	27,29	0,008	24,58	0,0065	25,52

Tabulka č. 20 - Výsledky zrnitostního rozboru 4.45.11

Vzorek 15/1		Vzorek 15/2		Vzorek 15/3	
velikost zrn [mm]	zastoupení zrn [%]	velikost zrn [mm]	zastoupení zrn [%]	velikost zrn [mm]	zastoupení zrn [%]
0,062	66,15	0,045	62,07	0,042	65,70
0,046	60,93	0,033	58,12	0,032	62,49
0,034	58,31	0,024	56,14	0,021	58,89
0,023	49,18	0,017	47,44	0,017	50,08
0,015	37,86	0,010	39,53	0,011	40,06
0,0085	29,81	0,0065	32,02	0,0065	33,25

Tabulka č. 21 - Výsledky zrnitostního rozboru 4.15.00

Vzorek 58/1		Vzorek 58/2		Vzorek 58/3	
velikost zrn [mm]	zastoupení zrn [%]	velikost zrn [mm]	zastoupení zrn [%]	velikost zrn [mm]	zastoupení zrn [%]
0,051	61,80	0,048	57,92	0,048	59,49
0,040	59,19	0,035	55,00	0,038	55,72
0,029	51,79	0,027	48,75	0,027	53,20
0,020	42,21	0,019	40,83	0,019	46,08
0,013	34,38	0,012	32,50	0,012	38,54
0,0075	26,55	0,007	26,67	0,007	31,63

Tabulka č. 22 - Výsledky zrnitostního rozboru 5.58.00

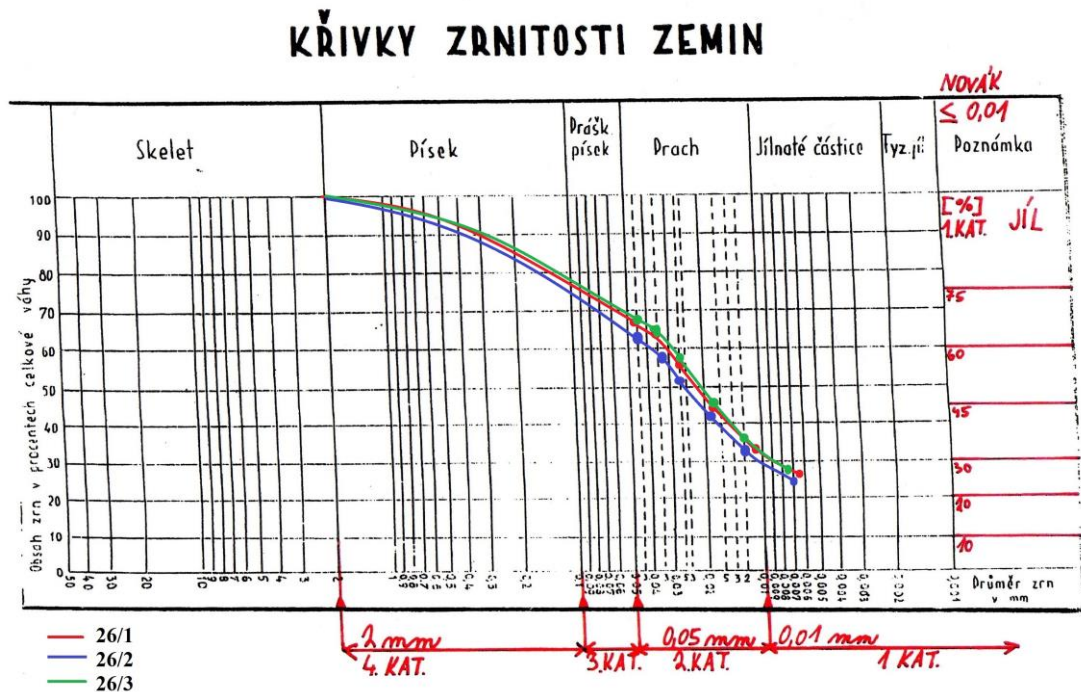
Hodnocení

Pro vhodné vyhodnocení zrnitostního rozboru je nutné sestavit zrnitostní křivku dané půdy. Zrnitostní křivka je součtovou čarou daných procentických zastoupení zrn daného průměru a všech menších. Její sestavení náleží do semilogaritmického systému, kde na horizontální ose je logaritmická stupnice daných průměrů částic. Zákres se provádí vyhledáním jednotlivých bodů v závislosti na vyhledání určeného průměru spolu s jejich procentickým zastoupením. Vhodná tabulka pro zákres zrnitostní křivky je součástí této práce a označena je jako příloha č. 4.

Zrnitostní křivka nám udává jednoznačné rozdělení daných částic podle velikosti v půdě a je mezinárodně srozumitelná. Pro hlavní druhy půd mají tyto zrnitostní křivky

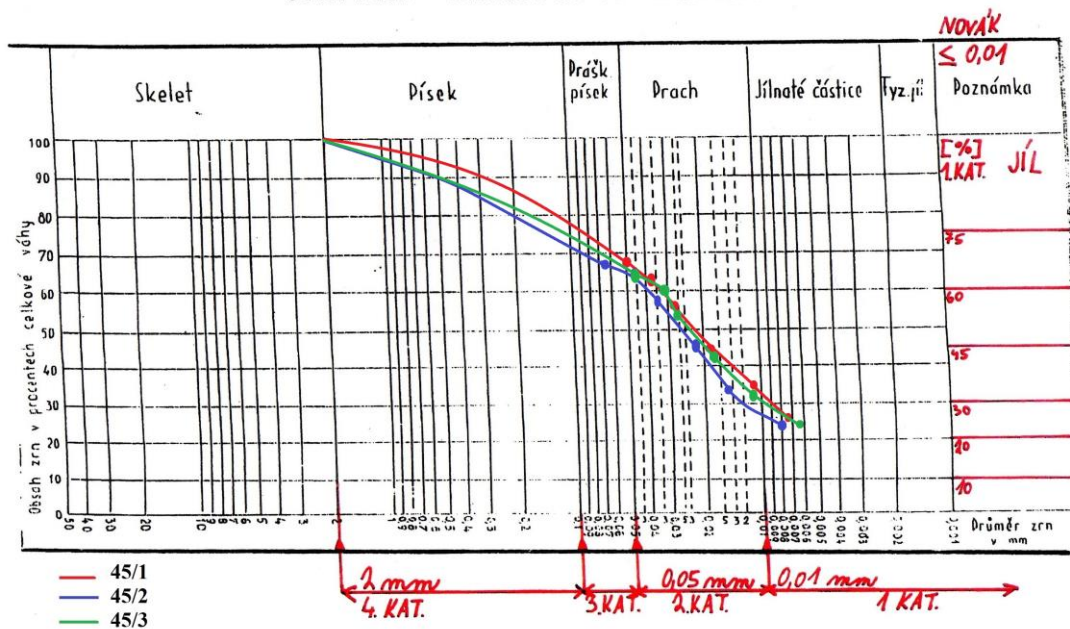
charakteristický tvar, a to konkávní pro písčité, konvexkonkávní pro hlinité a konvexní pro jílovité.

Na základě rozborů vzorků určených pro tuto práci je jednoznačné, že se jedná o půdy hlinité, a tedy křivky všech vzorků jsou konvexkonkávní. Grafické znázornění těchto křivek lze spatřit s rozdělením podle jednotlivých stanovišť a označením horizontů na obrázcích č. 9–12.



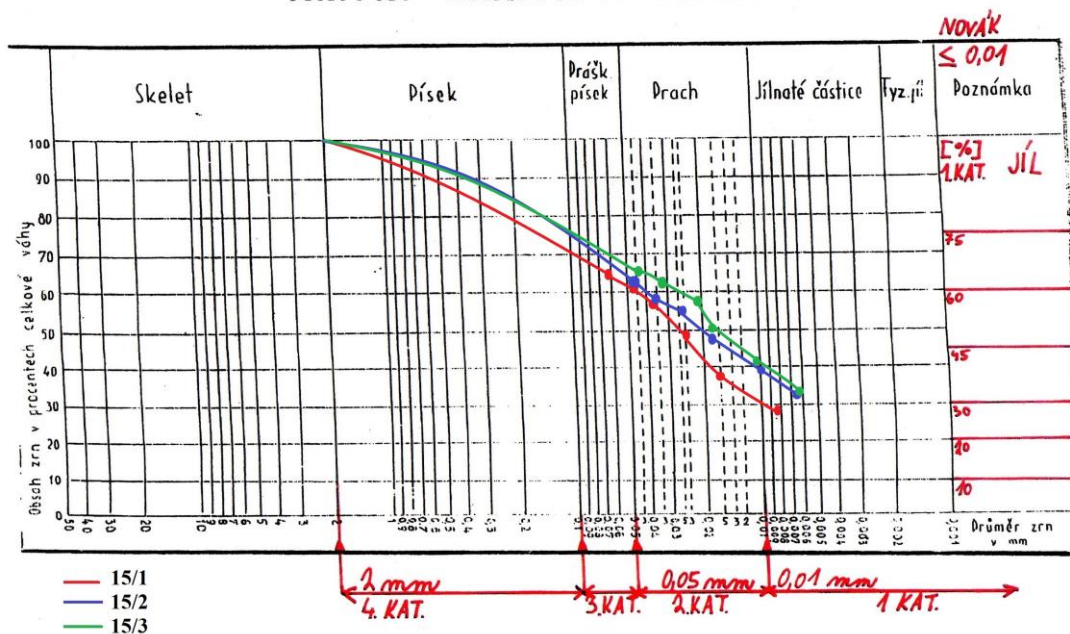
Obrázek č. 9 - Zrnitostní křivky vzorků 4.26.11

KŘIVKY ZRNITOSTI ZEMIN



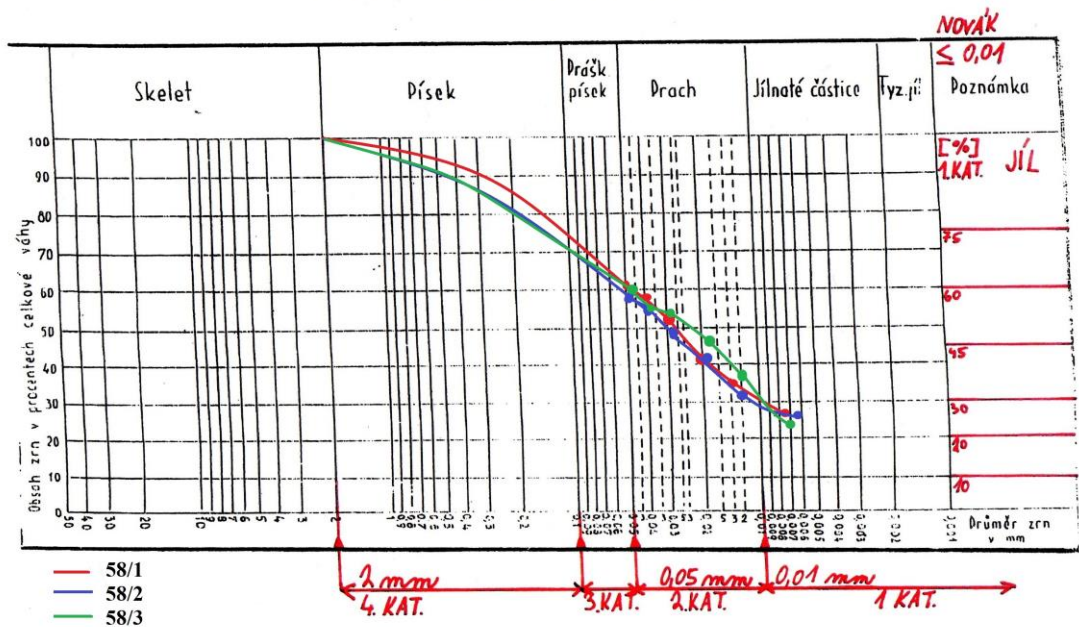
Obrázek č. 10 - Zrnitostní křivky vzorků 4.45.11

KŘIVKY ZRNITOSTI ZEMIN



Obrázek č. 11 - Zrnitostní křivky vzorků 4.15.00

KŘIVKY ZRNITOSTI ZEMIN



Obrázek č. 12 - Zrnitostní křivky vzorků 5.58.00

Zrnitostní rozbor lze také vhodně vyhodnotit na základě tzv. Novákovy klasifikace půdních druhů, kdy je rozhodující pro správné určení půdního druhu obsah hrubého jílu, tj. částic menších než 0,01 mm. Naměřené hodnoty této nejjemnější frakce se pohybovaly v rozmezí 24,58–33,25 %. Dle Nováka tedy půdní druh vybraného experimentálního pozemku náleží do půd písčitohlinitých (rozmezí 20–30 %) a hlinitých (30–40 %).

6 Diskuse

Na základě všech prováděných měření lze jednoznačně určit, že se jedná o půdu silně ulehlou a velmi utuženou. Díky zjištěným hodnotám objemové hmotnosti, která s výjimkou dvou měření vyšla vždy přes 1,50 [g·cm⁻³], se jedná o půdu velmi silně utuženou. Při klasifikaci podle Kutílka (1966) je stav horizontu nestrukturní.

Na základě těchto zjištěných dat byla dále určena pórovitost dané půdy a složení pórů. Díky přítomné pedokompakci půdy není složení pórů optimální a schopnost dané půdy vázat vodu a zajišťovat živiny pro růst rostlin je tímto značně ztížena.

Určení půdního druhu se podařilo na základě provedeného zrnitostního rozboru uspokojivě. Při porovnání s dostupnými informacemi získanými v rámci Komplexního průzkumu půd pocházejícího z roku 1970 bylo zjištěno, že tyto informace jsou si vzájemně odpovídající a také zrnitostní frakce určená při provádění půdní sondy v rámci KPP náleží do zjištěných rozmezí dat získaných na základě experimentálního měření, kterým se zabývá tato práce.

Utužení půdy způsobuje špatný strukturní stav půd a velmi negativně ovlivňuje zemědělskou prvovýrobu v celé České republice. Některé pozemky jsou utužením půdy ovlivněny více než jiné, zvláštní pozornost je třeba také věnovat pozemkům se širokořádkovými kulturami či pozemkům zatížených velmi častými přejezdy zemědělské techniky. Sledovaný pozemek v rámci experimentálního měření fyzikálních parametrů je velmi silně utužený, a je třeba najít vhodná opatření ke zlepšení jeho stavu.

Tento současný stav lze odůvodnit faktem, kdy byl v době odběru vzorků na stanovišti vysazen porost jahodníku již druhým produkčním rokem. Vzhledem k velkému suchu v letech 2017 až 2019 bylo vsakování vody omezené a provádění meziřádkové kultivace v porostu v závislosti na půdních podmínkách bylo značně problematické. Vysoký počet přejezdů zemědělské techniky u plodin s kolejovými řádky má také velmi negativní vliv na utužení půdy a v souvislosti s pěstováním plodiny na témže pozemku po dobu více produkčních let nelze výrazně zajistit každoroční zlepšení stavu utužení půdy pomocí provedení hluboké orby nebo podrývání před setím či sázením.

Snížení utužení půdy v porostu jahodníku lze do jisté míry zajistit meziřádkovou kultivací pomocí pleček s pasivními či aktivními pracovními orgány. Účinnost této meziřádkové kultivace je podmíněna jejím prováděním při optimálních půdních podmínkách, a to tak, aby bylo podpořeno vsakování vody, došlo k rozrušení půdního škraloupu a bylo zamezeno tvorbě nového.

K utužení půdy také mohla přispět skutečnost, kdy v suchých obdobích let 2017 až 2019 bylo prováděno povrchové zavlažování pásovým zavlažovačem před samotnou sklizní. Negativní faktory pásového zavlažování z hlediska utužení půdy byly zčásti eliminovány slámovou podestýlkou nacházející se mezi řádky jahodníku, nicméně vybudování kapkové závlahy je z hlediska předcházení utužení půdy vhodnější.

Závěr

Pedologické činnosti v rámci systému pěstování rostlin mají své jasné zastoupení. Půda je základním výrobním faktorem při produkci potravin a díky monitoringu půd je možné přímo sledovat stav jejího vývoje.

V teoretické části práce byly shrnuty dosavadní poznatky související s fyzikálními parametry půdy a možnosti jejich zkoumání. V praktické části práce bylo provedeno experimentální měření vybraných fyzikálních parametrů půdy na pozemku náležícímu hospodaření rodinné farmy a jejich vyhodnocení.

Samotnému získávání experimentálních dat, která byla zjišťována laboratorním rozбором s následným hodnocením, předcházelo seznámení se s předmětným pozemkem a odběr půdních vzorků přímo v terénu. Při tvorbě této práce byly vybrány metody vhodné k získání fyzikálních parametrů půdy, a to rozbor neporušených Kopeckého válečků, na základě kterých mohla být určena měrná hmotnost půdy, objemová hmotnost půdy a také její pórovitost. Na základě těchto parametrů bylo zjištěno nadměrné utužení půdy a její přílišná ulehlost. Také stav strukturnosti půdy není v optimálních mezích. Další důležitou součástí této práce je provedení zrnitostní rozbor na základě kterého mohl být určen půdní druh, kdy půda náleží do skupiny půd hlinitých.

Postup provedení těchto metod je v této práci detailně popsán, a to včetně vyhodnocení dat. Čtenářům jsou zde představeny výsledky experimentálního měření a tyto experimentálně získaná data lze označit jako vhodná vstupní data pro budoucí počítačové simulace zaměřené na utužení půdy po přejezdech zemědělské techniky.

Při případném rozšiřování této práce by bylo vhodné sledovat předmětný pozemek po delší časový úsek a také by bylo vhodné sledovat vliv závislosti pěstování konkrétní plodiny na půdní vlastnosti a jejich změny.

Seznam použité literatury

BIČÍK a kol., 2009. *Půda v České republice*. Praha: Consult. 255 s. ISBN 80-903482-4-6

Celostátní databáze BPEJ, ©2017-2020. *Mapová aplikace BPEJ* [online]. Praha: SPÚ [cit. 2020-01-31]. Dostupný z: <http://spucr.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=02c5dbfd2ae540028772a7bb069fb878>

EKATALOG BPEJ, ©2020. *Webová aplikace eKatalog BPEJ* [online]. Praha: VÚMOP [cit. 2020-01-31]. Dostupný z: <https://bpej.vumop.cz/>

HORÁČEK, Jan, Rostislav LEDVINA a Jitka KOUBALÍKOVÁ, 1994. *Geologie a půdoznalství*. Cvičení pro 1. ročník. Vyd. první. České Budějovice: JU ZF České Budějovice. 114 s. ISBN 80-7040-106-0

HŮLA, Josef, Zdeněk ABRHAM a František BAUER, 1997. *Zpracování půdy*. Vydání první. Praha: Brázda. 144 s. ISBN 80-209-0265-1

HŮLA, Josef, Blanka PROCHÁZKOVÁ a kol., 2008. *Minimalizace zpracování půdy*. 1. vydání. Praha: Profi Press. 248 s. ISBN 978-80-86726-28-1

CHUMAN, Tomáš. Ukázka půdní sondy [obrázek]. V: *Fotoarchiv České geologické služby* [online]. Praha, Česká geologická služba, 2015 [cit. 2020-02-20]. Dostupný z: <http://www.geology.cz/foto/23690>

MÁČKA, Zdeněk. Nováková klasifikace půdních druhů [obrázek]. V: *SlidePlayer: PŘEDNÁŠKY O PŮDĚ Zdeněk Máčka* [online]. SlidePlayer.cz, © 2020 [cit. 2020-03-05]. Dostupný z: <https://slideplayer.cz/slide/13111848/79/images/5/Nov%C3%A1kova+klasifikace+p%C5%AFdn%C3%ADch+druh%C5%AF.jpg>

NĚMEČEK, Jan, Libuše SMOLÍKOVÁ a Miroslav KUTÍLEK, 1990. *Pedologie a paleopedologie*. Vydání 1. Praha: Academia. 552 s. ISBN 80-200-0153-0

NĚMEČEK a kol., 2000. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Vydání první. Praha: ČZU Praha spolu s VÚMOP Praha, 78 s. ISBN 80-238-8061-6

PELÍŠEK, Josef, 1964. *Lesnické půdoznalství*. 2. přepracované a doplněné vydání. Praha: SZN, 568 s.

Planeta: Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR, 2004. Red. Milan SÁŇKA a Jan MATERNA. Praha: MŽP, roč. XII, č. 11. ISSN 1213-3393

Registr půdy – LPIS, ©2009-2020. *Portál farmáře* [online]. Praha: MZe [cit. 2020-01-31]. Dostupný z: <https://eagri.cz/ssl/app/lpisext/lpis/ng/mapa/>

SMOLÍK, Ladislav, 1957. *Pedologie*. Vydání první. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. 399 s.

ŠARAPATKA, Bořivoj, Pavel DLAPA a Zoltán BEDRNA, 2002. *Kvalita a degradace půdy*. 1. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého. 246 s. ISBN 80-244-0584-9

ŠARAPATKA, Bořivoj, 2014. *Pedologie a ochrana půdy*. 1. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého. 232 s. ISBN 978-80-244-3736-1

TOMÁŠEK, Milan, 1995. *Atlas půd České republiky*. Vydání I. Praha: Český geologický ústav. 36 s. ISBN 80-7075-198-3

ŠIMEK, Miloslav, 2005. *Základy nauky o půdě – 1. Neživé složky půdy*. Vyd. druhé, upravené a rozšířené. České Budějovice: Biologická fakulta JU. 160 s. ISBN 80-7040-747-6

VALLA a kol., 2000. *Pedologické praktikum*. Vydání první. Praha: ČZU Praha, 148 s. ISBN 80-213-0637-8

WAKPP – Webový archiv komplexního průzkumu půd, ©2007-2019. *Aplikace Webový archiv KPP* [online]. Praha: VÚMOP [cit. 2020-01-31]. Dostupný z: <https://wakpp.vumop.cz/>

YONG Raymond, Masashi NAKANO a Roland PUSCH, 2012. *Environmental soil properties and behaviour*. Boca Raton: CRC Press. 435 s. ISBN 978-1-4398-4529-5

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 - Ukázka půdní sondy; © Tomáš Chuman, 2015.....	10
Obrázek č. 2 - Novákova klasifikace půdních druhů; © Zdeněk Máčka.....	16
Obrázek č. 3 - Odběr vzorků pomocí Kopeckého válečku	28
Obrázek č. 4 - Vyjmutý a seříznutý Kopeckého váleček.....	29
Obrázek č. 5 - Umístění válečků na vodní lázni	31
Obrázek č. 6 - Umístění válečků při posledním odsávání pomocí filtračního papíru	32
Obrázek č. 7 - Náhled aplikace LPIS s vyznačením DPB; © MZe, 2020	44
Obrázek č. 8 - Náhled webové aplikace komplexního průzkumu půd; © VÚMOP, 2019	45
Obrázek č. 9 - Zrnitostní křivky vzorků 4.26.11	62
Obrázek č. 10 - Zrnitostní křivky vzorků 4.45.11	63
Obrázek č. 11 - Zrnitostní křivky vzorků 4.15.00.....	63
Obrázek č. 12 - Zrnitostní křivky vzorků 5.58.00.....	64

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 - Objemové hmotnosti podle Kutílka (1966), zdroj: Planeta 2004	19
Tabulka č. 2 - Minimální hodnoty objemové hmotnosti pro omezení růstu kořenů v závislosti na půdním druhu, Arshad et al. (1996), zdroj: Bičík a kol., 2009; Planeta 2004.....	20
Tabulka č. 3 - Výsledky rozboru válečků 4.26.11/1	50
Tabulka č. 4 - Výsledky rozboru válečků 4.26.11/2	50
Tabulka č. 5 - Výsledky rozboru válečků 4.26.11/3	51
Tabulka č. 6 - Výsledky rozboru válečků 4.45.11/1	51
Tabulka č. 7 - Výsledky rozboru válečků 4.45.11/2	52
Tabulka č. 8 - Výsledky rozboru válečků 4.45.11/3	52
Tabulka č. 9 - Výsledky rozboru válečků 4.15.00/1	52
Tabulka č. 10 - Výsledky rozboru válečků 4.15.00/2	53
Tabulka č. 11 - Výsledky rozboru válečků 4.15.00/3	53
Tabulka č. 12 - Výsledky rozboru válečků 5.58.00/1	54
Tabulka č. 13 - Výsledky rozboru válečků 5.58.00/2	54
Tabulka č. 14 - Výsledky rozboru válečků 5.58.00/3	54
Tabulka č. 15 - Získané hodnoty objemové hmotnosti redukované	55
Tabulka č. 16 - Průměry měrných hmotností půdy dle odběrných míst	57
Tabulka č. 17 - Získaná data pórovitosti půdy	58
Tabulka č. 18 - Výsledky měření pórovitosti dle skladby pórů	59
Tabulka č. 19 - Výsledky zrnitostního rozboru 4.26.11	60
Tabulka č. 20 - Výsledky zrnitostního rozboru 4.45.11	60
Tabulka č. 21 - Výsledky zrnitostního rozboru 4.15.00.....	61
Tabulka č. 22 - Výsledky zrnitostního rozboru 5.58.00.....	61

Příloha č. 1 - Tabulka pro zápis rozboru neporušeného válečku

Jména:

Skupina:

Označení válečku:

Hmotnost (g)		Charakteristika			
		W_{mom}	Vlhkost momentální	$W_{mom} = G_A - G_F$	
G_A	Momentálně vlhký				
G_B	Kapilárně nasycený	N_s (%)	Nasáklivost	$N_s = G_B - G_F$	
G_C	30' po odsávání	W_{30} (%)	Vlhkost 30-minutová	$W_{30} = G_C - G_F$	
G_D	120' po odsávání	MKK (%)	Max. kapilární vodní kapacita	MKK = $G_D - G_F$	
G_E	24 hodin po odsávání	RVK_{24} (%)	Retenční vodní kapacita (24h)	$RVK_{24} = G_E - G_F$	
G_F	Hmotnost po vysušení (miska + obsah)	P_C (%)	Pórovitost celková	$P_C = 100 \cdot (M_z - O_R) / M_z$	
G_F'	Hmotnost pouze suché zeminy	P_K (%)	Pórovitost kapilární	$P_K = RVK_{24}$	
		P_s (%)	Pórovitost semikapilární	$W_{30} - RVK_{24}$	
		P_N (%)	Pórovitost nekapilární	$P_C - W_{30}$	
		A (%)	Provzdušněnost půdy	$A = P_C - W_{mom}$	
Skříčko		MKK_{VZ} (%)	Max. vzdušná kapacita p.	$MKK_{VZ} = P_C - MKK$	
Filtr. papír		RVK_{24VZ} (%)	Retenční vzdušná kapacita p.	$RVK_{24VZ} = P_C - RVK_{24}$	
Váleček		O_R ($g \cdot cm^{-3}$)	Objemová hmotnost redukováná	$O_R = G_F / 100$	
Miska		M_z ($g \cdot cm^{-3}$)	Měrná hmotnost	Stanovená pyknometricky	

Příloha č. 2 - Formulář pro zápis hustoměrných čtení Casagrande včetně kalibrační tabulky

CASAGRANDE

Mz =

Kalibrační tabulka

V (cm ³)	F (cm ²)	2F (cm ²)	V/2F (cm)	h/2 (cm)	h/2 - V/2F (cm)	L/6 (cm)	R	h _R (cm)
							30	
							25	
							20	
							15	
							10	
							5	
							0	

L =

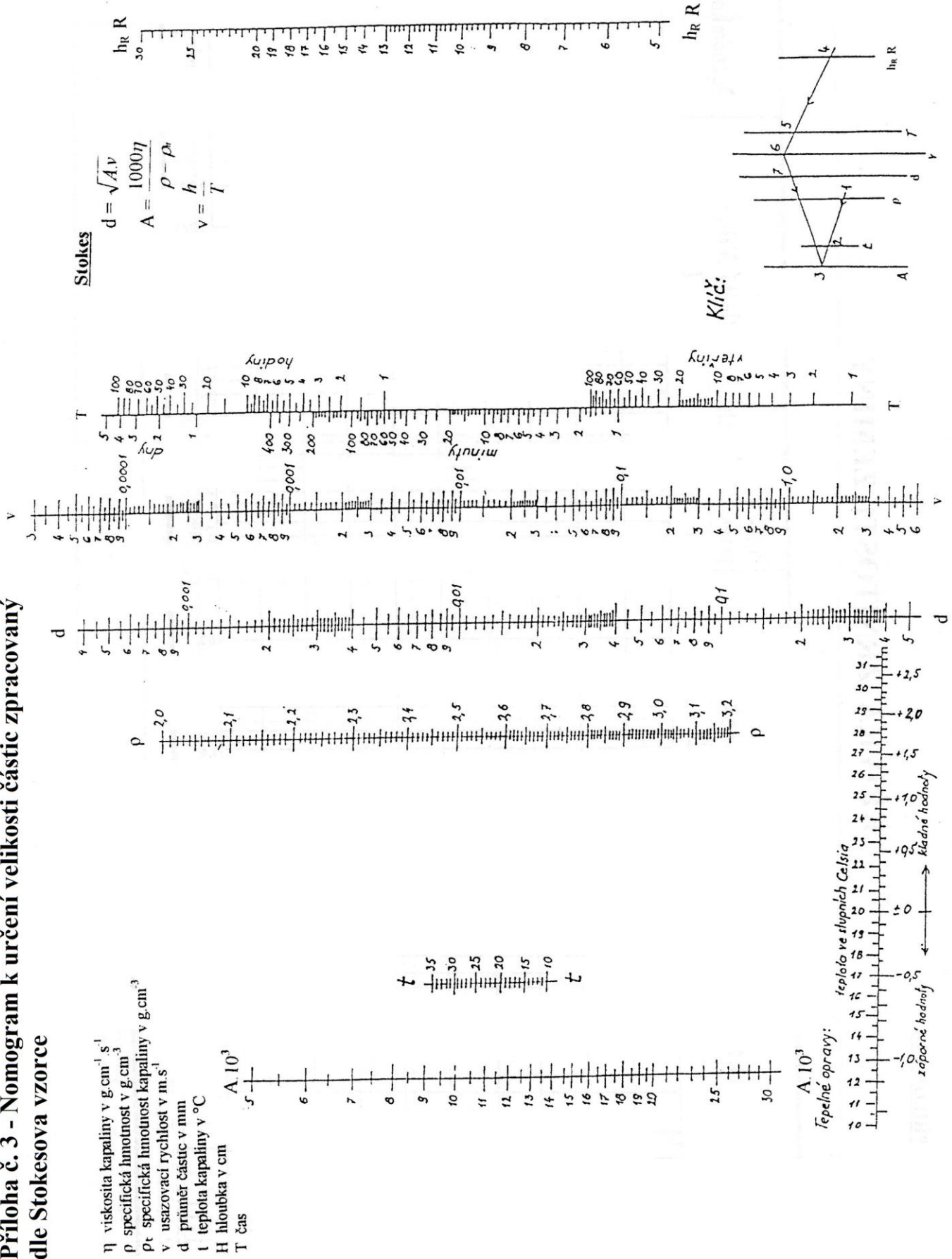
proměření =

Zápis čtení

čas	hustota	čtení	R = čtení + proměření	průměr d (mm)	zastoupení (%)
30''					
1'					
2'					
5'					
15'					
45'					

Příloha č. 3 - Nomogram k určení velikosti částic zpracovaný dle Stokesova vzorce

- η viskozita kapaliny v $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
- ρ specifická hmotnost v $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- ρ_t specifická hmotnost kapaliny v $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- v usazovací rychlost v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- d průměr částic v mm
- t teplota kapaliny v $^{\circ}\text{C}$
- H hloubka v cm
- T čas



Stokes

$$d = \sqrt{\frac{A \cdot v}{1000 \eta}}$$

$$A = \frac{\rho - \rho_t}{h}$$

$$v = \frac{2}{9} \frac{g \cdot d^2 (\rho - \rho_t)}{\eta}$$

