

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV

KRAJINY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

ANALÝZA ERODOVATELNOSTI PŮDY
POMOCÍ TERÉNNÍCH MĚŘENÍ

Vedoucí práce: Ing. Jan Vopravil, Ph.D.
Diplomantka: Bc. Barbora Stříbrská

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Barbora Stříbrská

Krajinné inženýrství

Název práce

Analýza erodovatelnosti půdy pomocí terénních měření

Název anglicky

Analyses of soil erodibility based on terrain measurement

Cíle práce

1. Příprava podkladových dat pro vybrané modelové území – mapa BPEJ, DMR 5G, půdní vzorky a jejich analýza.
2. Výpočet K faktorů podle různých přístupů.
3. Analýza vlivu metody stanovení obsahu humusu na výpočet K faktoru.
4. Porovnání metod.

Metodika

Práce je zaměřena na přesné stanovení faktoru erodovatelnosti půdy v Univerzální rovnici ztráty půdy. V inženýrské praxi je standardním postupem přibližné odvození K faktoru dle hlavních půdních jednotek mapy BPEJ. Pro přesné vyhodnocení jsou však tato podkladová data nedostatečná. Pro získání přesných půdních dat budou aplikována terénní a laboratorní měření. Základními parametry pro výpočet K faktoru jsou zrnitost, vlhkost, infiltrace, obsah humusu a struktura. Pro modelové území budou připravena tato podkladová data a budou vypočteny K faktory podle různých přístupů.

Doporučený rozsah práce

50 stran

Klíčová slova

K faktor, erodovatelnost půdy, USLE, RUSLE, eroze

Doporučené zdroje informací

- Angima SD, Stott DE, O'Neill MK, Ong CK, Weesies GA. 2003. Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions. *Agriculture, Ecosystems, and Environment* 97: 295–308.
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Handbook #703. US Department of Agriculture: Washington, DC; 404.
- Romken MJM. 1983. The soil erodibility factor: a perspective. *Soil Erosion and Conservation* 10: 445–461
- Soil Survey Staff. 1997. National Soil Survey Handbook, Title 430-VI. USDA Natural Resources Conservation Service: Washington, DC.
- Vopravil J., Janeček M., Tipl M. (2007) Revised soil erodibility K-factor for soils in the Czech Republic. *Soil & Water Res.* 2(1): 1-9.
- Wang G, Gertner GZ, Liu X, Anderson A. 2001. Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. *Catena* 46: 1–14.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses—A Guide to Conservation. Agricultural Handbook 537. US Department of Agriculture: Washington, DC.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jan Vopravil, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 18. 3. 2019

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 19. 03. 2019

PROHLÁŠENÍ O AUTORSTVÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma:

„Analýza erodovatelnosti půdy pomocí terénních měření“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jana Vopravila, Ph.D. Dále prohlašuji, že jsem uvedla všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Kladně dne: 4. 4. 2019

.....

Bc. Barbora Stříbrská

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala mé rodině za pomoc a podporu při studiu. Chtěla bych také poděkovat bývalému vedoucímu práce panu Ing. Jiřímu Brychtovi. Dále bych chtěla za vedení mé diplomové práce poděkovat novému vedoucímu panu Ing. Janovi Vopravilovi, Ph.D.. Velké díky též patří panu Ing. Tomáši Khelovi z VÚMOP, se kterým jsem konzultovala laboratorní měření. Pánům Ondřeji Holubíkovi a Lukáši Vlčkovi děkuji za poskytnuté fotky půdních odběrů ze sondírek.

Obsah

Úvod	11
Cíle práce	12
Teoretická část	13
1. Eroze půdy	13
1.1. Druhy eroze.....	14
1.2. Příčiny eroze	16
1.3. Intenzita eroze.....	16
Modelování eroze.....	17
2. Empirické metody.....	17
2.1. Rovnice USLE.....	17
2.2. Rovnice RUSLE	20
2.3. Rovnice MUSLE.....	20
3. Fyzikální simulační metody.....	21
3.1. Model Erosion 2D a 3D	21
3.2. Model WEPP.....	23
3.3. Model SMODERP	24
4. Charakteristika území	26
4.1. Podloží.....	28
4.1.1 Půdní typy	29
4.1.2 Jednotlivé půdní odběry.....	36
4.2. Klimatické charakteristiky	46
5. Metodika	47
5.1 Výpočet K-faktoru	48
5.2 Zpracování vzorků v Laboratoři	52
5.2.1. Stanovení zrnitosti půdy hustoměrnou metodou	52
5.2.2. Stanovení specifické hmotnosti půdy pomocí pyknometru.....	56
5.2.3. Ztráta žíháním	58

5.2.4.	Stanovení agregátové stability (WSA)	60
6.	Výsledky	64
6.1.	Zjištění K-faktoru dle hlavní půdní jednotky z BPEJ.....	64
6.2.	Zjištění K-faktoru dle půdního typu a subtypu	65
6.3.	Zjištění K-faktoru dle nomogramu	66
6.4.	Výpočet K-faktoru dle vzorce (hydrologických skupin)	72
6.5.	Výpočet K-faktoru vycházející z RUSLE pro tropické půdy	74
7.	Diskuze	75
8.	Závěr	77
8.	Použitá literatura	78
9.	Seznam obrázků.....	81
10.	Seznam rovnic.....	82
11.	Seznam tabulek.....	83

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou analýzy erodovatelnosti půdy pomocí terénních měření.

V diplomové práci je řešen faktor erodovatelnosti půdy s ohledem na různé metody řešení výpočtů. K získání vstupních dat byl použita metoda zpracování vzorků WSA.

První část práce tvoří literární rešerše, která popisuje problematiku vodní eroze a příčinu jejího vzniku. Rešerše dále seznamuje s úvody modelování eroze. Modelování eroze je rozděleno do dvou částí. První část se zabývá modelováním pomocí empirických metod (rovnice USLE, RUSLE, MUSLE a jejich parametry). Druhá část modelování seznamuje s fyzikálně simulačními metodami jakými jsou modely Erosion 2D a 3D, model WEPP či model SMODERP. V neposlední řadě je zde seznámení s charakteristikou území v místě odběru vzorků a popisem půdních typů.

Druhá část práce, popisuje metodiku zjištění faktoru erodovatelnosti půdy (K-faktoru) a metody zpracování vzorků v laboratoři.

Výstupem této diplomové práce je konkrétní zjištění K-faktoru dle různých metod. Následné srovnání výsledků s cílem stanovit, který přístup je nejpřesnější ke zjišťované hodnotě K-faktoru.

V této práci bylo zjištěno, že nejpřesnější výsledek K-faktoru je získán za pomoci hlavní půdní jednotky z kódu BPEJ.

Klíčová slova

K-faktor, erodovatelnost půdy, USLE, RUSLE, eroze

ABSTRACT

This master's thesis deals with the topic of Analysis of soil erodibility based on terrain measurement.

In the thesis solves the soil erodibility factor with different methods of computation. The WSA sample processing method was used to obtain input data.

First part of the thesis is a literature review where the issue of water erosion and its causes are described. Review further includes an introduction into the modelling of erosion. The modelling of erosion is divided into two parts, the first one describes empiric methods (USLE, RUSLE, MUSLE and their parameters). The second part introduces physical simulation methods such as the Erosion 2D and 3D models, the WEPP model and the SMODERP model. The review part ends with the description of the place where the experiment has been carried out and appropriate soil types are shown.

Different methods of calculating K factor and Soil analysis are described in the second section of the thesis. Results of the collected field data are shown and results of soil analysis, which point out the scale of erosion, are included.

The output of this thesis are specific K factor values according to different methods. Subsequent comparison of these results enables the selection of the method giving the result closest to the real value of K factor.

In the thesis we have come to the conclusion that the best result is obtained from main soil unit.

Key words

K factor, soil erodibility, USLE, RUSLE, erosion

SEZNAM ZKRATEK

ČR	Česká republika
GIS	Geografický informační systém
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
MZe	Ministerstvo zemědělství
BPEJ	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
USLE	Univerzální rovnice ztráty půdy
RUSLE	Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy
MUSLE	Modifikovaná univerzální rovnice ztráty půdy
WEPP	Water Erosion Prediction Project = simulační erozní model
SMODERP	Simulační Model Odtoku a Erozního Procesu
WSA	Water Stable Aggregate = stanovení agregátové stability

ÚVOD

Má diplomová práce se týká problematiky analýzy erodovatelnosti půdy pomocí terénních měření. Odběr vzorků probíhal ze sond v okresech Pelhřimov, Plzeň - Sever, Plzeň - Jih a Praha - západ (konkrétně na katastrálních územích: Horní Cerekev, Sázava pod Křemešním, Krsy, Pernarec, Jarov, Lelov, Chocenický Újezd, Snopoušovy, Zlončice, Kojetice u Prahy).

Pro zjištění faktoru erodovatelnosti půdy (K-faktoru) bylo použito několik možností výpočtu. Pro získání K-faktoru za pomoci hlavní půdní jednotky z BPEJ byl K-faktor vyčten z Tabulky 5 (Janeček, 2012). V dnešní době se jedná o nejpoužívanější metodu. Při znalosti půdního typu a subtypu zeminy v sondě lze vyčíst K-faktor z Tabulky 6 (Janeček, 2012). Další možné zjištění K-faktoru je přes nomogram (Obrázek 15 – Janeček 2008). V neposlední řadě K-faktor lze získat dle výpočtů. Jedna z metod výpočtu K-faktoru využívá pro výpočet nestabilní agregáty menší jak 0,25 mm. Díky tomu byla vybrána metoda zpracování vzorků v laboratoři WSA. Metodu WSA lze aplikovat na velké spektrum půdních vzorků. Nezávisí na druhu, mocnosti či původu jednotlivých půd. Její využití je především při hodnocení kvality svrchních horizontů zemědělských půd, či možné určení kvality půdní struktury libovolného půdního horizontu při různém využití půdy (VÚMOP, 2011).

CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této práce je výpočet K-faktoru dle různých přístupů. Dalším důležitým cílem je porovnání metod získání K-faktoru.

Mezi další cíle můžeme stanovit analýzu metody vlivu stanovení obsahu humusu na výpočet K-faktoru. Zpracování půdních vzorků a jejich následná analýza v laboratoři pro budoucí použití k výpočtu K-faktoru.

TEORETICKÁ ČÁST

1. EROZE PŮDY

Eroze půdy je celosvětový problém. Při erozi dochází k nenávratnému devalvování půdy a krajiny v důsledku nevhodného využívání přírodních zdrojů člověkem. Ve světě je vodní erozí ohroženo 9 mil. km² z 15 mil. km² půd. Z toho jsou 2 mil. km² již degradovány (Sklenička, 2003).

V České republice je výskyt erozně nebezpečných přívalových dešťů nerovnoměrný a díky tomu těžko předvídatelný. Nejčetnější výskyt erozně nebezpečných přívalových dešťů je v období od května do srpna (Janeček, 2005).

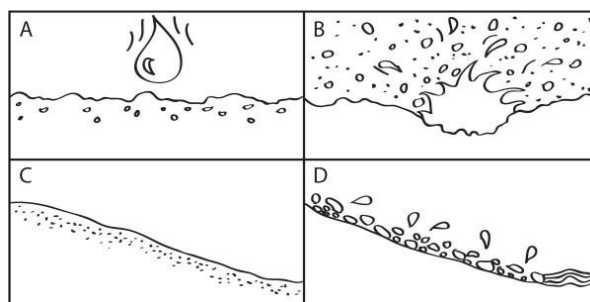
Eroze je ucelený mechanický proces, při kterém dochází k narušování povrchu půdy přírodními vlivy, kterými jsou voda, vítr, slunce nebo jejich vzájemné působení (Chmelová et Šarapatka, 2002). Vodní a větrná eroze patří mezi jedny z nejničivějších přírodních jevů. Škodlivým účinkům eroze však v našich klimatických podmínkách nelze zcela zabránit. Erozi půdy není možné zcela zastavit, je ovšem potřeba ji redukovat na hodnoty tzv. přípustného smyvu, kdy ztráta půdy erozí je v rovnováze s procesem její tvorby (MZe ČR, 1995).

Vědní obor, který se zabývá příčinami vzniku eroze, jejími následky a možnostmi ochrany proti ní, se nazývá erodologie.

„Eroze se definuje jako komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody, větru, ledu a jiných tzv. erozních činitelů“ (Janeček, 2008).

Eroze je proces skládající se ze tří fází (Obrázek 1):

- rozrušování půdní struktury
- transport sedimentů
- usazování půdních sedimentů (Derpsch, 1991)



Obrázek 1 Průběh Eroze (Derpsch, 1991)

1.1. DRUHY EROZE

Existuje velké množství druhů eroze. Nejčastější dělení eroze je dle činitele:

- antropogenní
- ledovcová
- sněhová
- větrná
- vodní
- zemní.

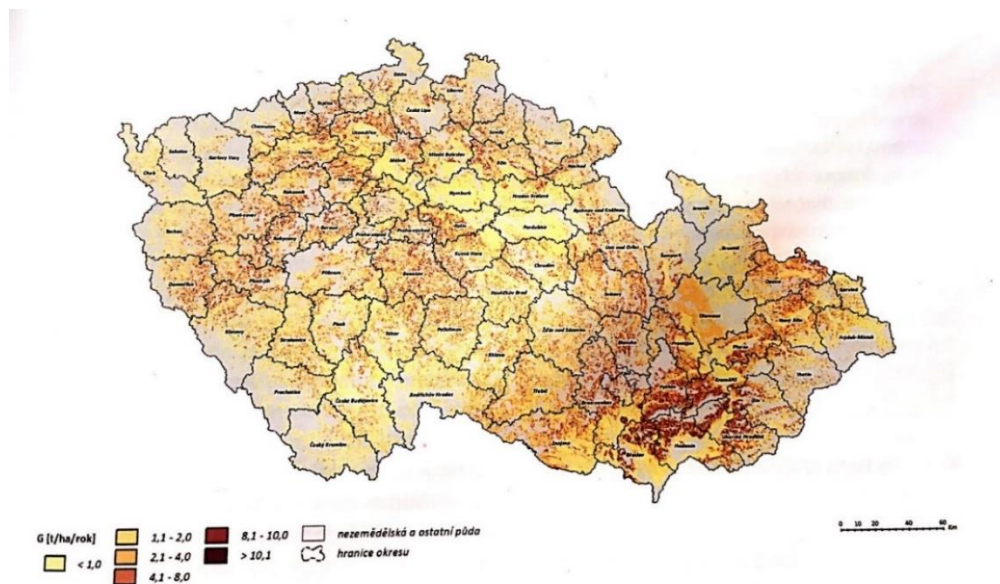
Dané druhy eroze mohou působit jednotlivě i společně. Dle povahy tohoto působení se liší i výše intenzity eroze. Celosvětově nejvíce způsobuje problémy vodní a větrná eroze (Holý, 1994).

Vodní eroze

Na našem území je téměř polovina orné půdy ohrožena různým stupněm vodní eroze (

). Tyto ohrožené plochy vyžadují důslednou protierozní ochranu (MZe, 2011).

Vodní eroze vzniká rozrušováním zemského povrchu vodou, kinetickou energií dopadajících dešťových kapek a povrchovým odtokem. Povrchový odtok vzniká při větším množství srážek poté, co půda není schopna infiltrovat (Janeček, 2008).



Obrázek 2 Erozní ohrožení půdy vodní erozí v ČR (Šarapatka, 2014)

Formy povrchové vodní eroze

Povrchovou vodní erozi můžeme dělit dle účinků vody na půdní povrch na:

- Plošnou
- Výmolovou
- Proudovou (*Holý, 1994*)

Plošná vodní eroze téměř rovnoměrně rozrušuje půdu po celé části svahu či ploše pozemku. Její první stupeň je eroze selektivní, při které povrchový odtok odnáší jemné půdní částice. Selektivní eroze probíhá zvolna a nezanechává viditelné stopy. Způsobuje nerovnoměrný vývoj vegetace projevující se barvou i kvalitou vegetace a jejím rozdílným růstem. Druhý stupeň této eroze je eroze vrstevná. Projevuje se na celé ploše svahu či v širokých pásech. Pokud na zeminu působí větší množství vody, jako jsou vydatné příválové deště, tak dochází k smyvům půdní hmoty ve vrstvách a obvykle i ke ztrátě celé orniční vrstvy (*Holý, 1994*).

Výmolová vodní eroze vzniká postupným soustředěním povrchově stékající vody, která vyrývá v půdním povrchu mělké zářezy. Ty se postupem času a následným opakováním prohlubují (*Janeček, 2008*). Prvním stádiem je eroze rýžková a brázdová. U rýžkové eroze vznikají v půdním povrchu drobné úzké zářezy, které na svahu vytváří hustou síť. Rýžková eroze se mění v erozi rýhovou, která přechází v erozi výmolovou. Výmoly zasahují často do podzemních vodonosných horizontů, ze kterých odvádějí podpovrchovou vodu. Nežádoucím faktorem je skutečnost, že snižují hladinu podzemní vody a způsobují vysoušení okolního území (*Holý, 1994*).

1.2. PŘÍČINY EROZE

Za hlavní příčiny eroze zemědělských pozemků lze považovat:

- Nadměrné zvětšování orných pozemků na svazích
- Vytváření nevhodných tvarů pozemků, s prodlužující se délkou po spádnicí, díky které se prodlouží i dráha eroze působícího odtoku
- Rušení remízků a bývalých hydrografických prvků v krajině, zkracujících povrchový odtok po pozemcích, včetně jeho odvádění (cestní příkopy a zatravněné údolnice)
- Rozšířené pěstování širokořádkových plodin, především okopanina a kukuřice, ale i kultur na svazích bez protierozních opatření, místo trvalých travních porostů a pěstování víceletých pícnin
- Soustředování plodin do velkých celků – povodí s častými katastrofálními povrchovými odtoky a smyvy půdy
- Zhutňování půdy, které snižuje propustnost půdy pro vodu a tím zvyšuje podíl povrchového odtoku a eroze i na méně svažitéch pozemcích
- Absence strojů, které kromě základních agrotechnických operací přispívají k ochraně půdy, zejména v období střídání a počátečního růstu plodin

(MZe ČR, 1995)

1.3. INTENZITA EROZE

Intenzita eroze se projevuje odnosem půdy v hmotnostních či objemových jednotkách z jednotky plochy za jednotku času. Často se posuzuje dle hustoty rýh, výmolů a strží. Je vyjádřena jejich délkou na jednotku plochy.

Dle intenzity se eroze dělí na:

- Normální erozi
- Abnormální – zrychlenou erozi (*Holý, 1994*)

MODELOVÁNÍ EROZE

Cíle modelování:

- Vymezení rizikových oblastí
- Výpočet průměrné roční ztráty půdy
- Stanovení hydrologických charakteristik

2. EMPIRICKÉ METODY

Empirické metody vznikly jako první na základě dlouhodobých měření a jejich statistického vyhodnocení. Nejsou náročné na vstupní data a díky tomu jsou méně přesné. Používají se pro větší celky jako jsou katastrální území, okresy atd.

2.1. ROVNICE USLE

Univerzální rovnice ztráty půdy, jinak zkráceně nazývána USLE je využívána k určení ohroženosti půd vodní erozí a k návrhu protierozních opatření. Tuto metodu vymysleli Wischmeier a Smith v roce 1978 a využívá se k výpočtu dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí, za pomoci Rovnice 1:

$$G = R * K * L * S * C * P$$

G – dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$]

R – faktor erozní účinnosti deště [$MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$]

K – faktor erodovatelnosti půdy [$t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot cm^{-1}$]

L – faktor délky svahu [-]

S – faktor sklonu svahu [-]

C – faktor ochranného vlivu vegetace [-]

P – faktor účinnosti protierozních opatření [-]

Erozní smyv ochuzuje půdu o její nejurodnější část, kterou je ornice. Zhoršuje vlastnosti půdy, snižuje mocnost zeminy a odnáší živiny. K největším erozním škodám dochází na půdě bez vegetace (*MZe ČR, 1995*).

Výhodami rovnice jsou její jednoduchost, stabilita, existence katalogů dat a její používání v ČR je rozšířeno. Velkou nevýhodou rovnice je, že nelze stanovit pro jednu hydrologickou událost. Faktor délky svahu a faktor sklonu svahu je převzat z rovnice RUSLE (*Janeček, 2008*).

R - faktor erozní účinnosti deště

R-faktor je závisí na:

- Četnosti výskytu srážek
- Kinetické energii srážek
- Intenzitě a úhrnu srážek

Faktor erozní účinnosti deště neboli erozivita. Jehož průměrná hodnota na zemědělské půdě pro Českou republiku je $40 \text{ MJ*ha}^{-1}\text{*cm*h}^{-1}$ pro veškeré pozemky na území ČR je průměrná hodnota R faktoru rovna $48 \text{ MJ*ha}^{-1}\text{*cm*h}^{-1}$. Reálná hodnota R faktoru je součet erozní účinnosti jednotlivých dešťů v průběhu roku. V současnosti se používá váhový srážkoměr pro určení velikosti srážky.

Erozní deště se nejčastěji vyskytují v období od června do srpna (až 78%), mají několik podmínek, které musí být splněny zároveň:

- Úhrn srážky musí být větší jak 12,5 mm
- Intenzita musí být větší než 6,25 mm za 15 min
- Doba mezi dešti musí být větší jak 6 h (*Janeček, 2008*).

K - faktor erodovatelnosti půdy

K-faktor závisí na:

- Struktura a textura ornice
- Obsahu organické hmoty
- Propustností půdního profilu

Faktor erodovatelnosti půdy neboli erodibilita. Jehož průměrná hodnota na zemědělské půdě pro Českou republiku se dá získat za pomoci druhého a třetího čísla bonitně půdně ekologické jednotky (*Janeček, 2008*).

L - faktor délky svahu

L-faktor vyjadřuje vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí. Intenzita eroze se zvyšuje se vzrůstající délkou svahu (*Janeček, 2008*).

S - faktor sklonu svahu

S-faktor vyjadřuje vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí. Intenzita eroze se zvyšuje se vzrůstajícím sklonem svahu (*Janeček, 2008*).

C - faktor ochranného vlivu vegetace

C-faktor vyjadřuje vliv vegetace a použité agrotechniky na velikosti erozního smyvu. Faktor ochranného vlivu vegetace lze určit přesněji v závislosti na vývojovém stádiu plodiny – 5 fenologických fází. Každá plodina má různý ochranný účinek, faktor C získáváme z osevního postupu. Velikost faktoru je poměr zjištěného smyvu půdy na pozemku s pěstovanými plodinami ke smyvu na pozemku s kypřeným černým úhorem (kde C=1). Vliv vegetačního pokryvu na smyvu půdy se projevuje:

- Přímá ochrana půdy před destruktivním působením dešťových kapek
- Zpomalení rychlosti povrchového odtoku
- Omezení možnosti zanášení pórů jemnými půdními částicemi
- Mechanické zpevnění půdy kořenovým systémem.

(Janeček, 2008)

P – faktor účinnosti protierozních opatření

P-faktor účinnosti protierozních opatření je poměr zjištěného smyvu na pozemku s použitým protierozním opatřením, ke smyvu na standardním pozemku, který je obděláván po spádnici. Hodnoty faktoru P jsou jednotlivá protierozní opatření, které jsou možné vidět v Tabulka 1. Pokud nejsou žádná protierozní opatření je P-faktor je roven jedné. Protierozní opatření jsou:

- Konturové obdělávání - orba po vrstevnici
- Hrázkování
- Terasování
- Pásové střídání plodin

(Janeček, 2008)

Protierozní opatření	Sklon svahu (%)			
	2 - 7	7 - 12	12 - 18	18 - 24
Maximální délka pozemku po spádnici při konturovém obdělávání	120 m 0,6	60 m 0,7	40 m 0,9	- 1
Maximální šířka a počet pásů při pásovém střídání	40 m 6 pásů	30 m 4 pásy	20 m 4 pásy	20 m 2 pásy
- okopanin s víceletými pícevinami	0,30	0,35	0,40	0,45
- okopanin s ozimými obilovinami	0,50	0,60	0,75	0,90
Hrázkování, resp. přerušované brázdování podél vrstevnic	0,25	0,30	0,40	0,45
Terasování	0,05 - 0,20			

Tabulka 1 Hodnoty P faktoru pro jednotlivá protierozní opatření (Wishmeier and Smith, 1978)

2.2. ROVNICE RUSLE

Rovnice RUSLE je revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy, kterou lze aplikovat i na nezemědělské pozemky. Struktura USLE je zachována, jsou zde zpřesněny některé parametry. Je zde zpřesněn R-faktor a K-faktor. R-faktor je již po patnácti dnech a K-faktor je zpřesněn o časový průběh a zhutňování. Je kladen důraz na půdní agregáty, nový vztah pro LS-faktor a zpřesnění C-faktoru.

Rovnice se především využívá ve Spojených Státech Amerických, v ČR se nedoporučuje díky nedostatečně velkým databázím. Je vhodná pro delší zkoumání eroze, ovšem velký zápor dané rovnice je náročnost na vstupní data, které jsou potřeba odebrat v terénu (*Janeček, 2008*).

2.3. ROVNICE MUSLE

Do této rovnice se zahrnuje transportní činitel. Je to výpočet ztráty půdy pro celé povodí, kde povodí nesmí být větší jak 15 km². Pro výpočet je možné postupovat jako u rovnice USLE s přičtením splavenin (Rovnice 2), ovšem R-faktor je nahrazen kulminačním průtokem a objemem odtoku.

$$G = 1,18 * (OPH * QPH)^{0,56} * K * L * S * C * P$$

G – transport splavenin z přívalového deště

O_{PH} – objem přímého odtoku

Q_{PH} – velikost kulminačního průtoku

K – erodovatelnost půdy

L – délka svahu

S – sklon svahu

C – ochranný vliv vegetace

P – účinnost protierozních opatření.

(*Janeček, 2008*)

3. FYZIKÁLNÍ SIMULAČNÍ METODY

Fyzikální simulační metody jsou náročné na vstupní data, díky tomu jsou i přesnější. Používají se pro lokální analýzy a maximálně pro několik půdních bloků.

3.1. MODEL EROSION 2D A 3D

Model EROSION 3D byl vytvořen z verze EROSION 2D, který řešil problematiku ztráty půdy na svahu (*Schmidt, 1994*). Daná verze byla zhotovena jako součást vzdělávacího programu Spolkového ministerstva pro technologie (*Janeček, 2008*).

Model 3D pracuje s celou plochou povodí. Jeho výpočty zahrnují ztrátu půdy způsobenou soustředěným a povrchovým odtokem. Geometrickým základem pro model je pravidelná čtvercová síť. Daná struktura popisuje povrch krajiny a je nejčastěji využívána u digitálních modelů terénu (*Janeček, 2008*).

Modely EROSION 2D a 3D se dají využívat pro:

- Modelování účinku různých druhů obhospodařování zemědělských pozemků (střídání plodin, druhy orby) a jím způsobených změn na vlastnosti půdy v závislosti na ztrátu půdy a povrchový odtok
- Modelování účinku stabilizace půdy a přeměnu ochranných opatření na ztrátu půdy a poté návrh opatření na ochranu půdy s ohledem na specifické půdní a uživatelské vlastnosti
- Posouzení množství kontaminantů navázaných na půdní částice, ukládaných na okrajích pozemků či transportovaných do vodních toků ze zemědělských ploch.

Vstupní data pro modely jsou:

- Časový průběh deště (doba trvání a intenzita srážky)
- Charakteristiky povrchu daného území (čtvercový rastr digitálního modelu terénu)
- Charakteristiky půdy (erodovatelnost, Manningův drsnostní součinitel, objemová hmotnost, obsah org. uhlíku, opravný faktor hydraulické vodivosti, počáteční půdní vlhkost, stav pokryvu – ornice a vegetace, zrnitost – dle klasifikace DIN do 9 stupňů) (*Janeček, 2008*).

Každý čtverec sítě obsahuje výstupní údaje o:

- Koncentraci splavenin
- Odtoku
- Transportovaném množství splavenin
- Zrnitosti splavenin
- Ztrátě či ukládání půdy

Výstupní parametry pro celé řešené povodí jsou:

- Množství usazeného materiálu
- Účinnost eroze
- Ztráta půdy (*Janeček, 2008*).

Model má výpočetní program rozdělen do dvou částí Preprocesor a Hlavní program. Preprocesor zpracovává vstupní data, která zrychlí a časově minimalizují stadium výpočtu eroze. Hlavní program modeluje účinek eroze a připravuje grafické zobrazení výstupů ve 2D i 3D (plošně i prostorově). Program spolupracuje s programem GIS, pracuje s daty a následně poskytne vizualizaci dat (*Janeček, 2008*).

Dvojrozměrné zobrazení znázorňuje čtvercovou síť, ze které je možné pro každý čtverec získat podrobné výsledky simulace. Trojrozměrný pohled nabízí zobrazení řešeného území s barevně odlišenými částmi uloženého erodovaného materiálu a intenzitou eroze (*Janeček, 2008*).

3.2. MODEL WEPP

Model WEPP neboli Water Erosion Prediction Project je simulační model pro řešení odtoku a eroze na jednotlivém svahu či v malém povodí. Výstupy jsou tvořeny na základě popisu fyzikálního, dynamického procesu. Procesy jsou na základě rovnice kontinuity pohybu vody a splavenin v prostoru a čase. Model je založen na zákonitostech hydrologie, hydrauliky, botaniky a erodologie. Modeluje předpověď povrchového odtoku, ztrátu půdy a ukládání sedimentů v korytech drobných vodních toků v malých povodích na svazích, v údolnicích pozemků (Vašínová, 2012).

Vstupní data pro model jsou:

- Erodatelnost půdy
- Kvalita půdní textury
- Množství a intenzita srážek
- Kvalita půdní textury
- Parametry růstu rostlin
- Sklon

Model je možné simulovat pro delší časové období až v řádu několika let, kde každý den má vlastní sadu vstupních klimatických dat. Během jednotlivého simulovaného dne může nastat déšť, který může, ale i nemusí způsobit povrchový odtok. Pokud povrchový odtok nastane, je počítána ztráta půdy a objem sedimentu pro tuto událost (USDA, 2011).

Největší výhodou modelu je odhad prostorového a časového rozdělování ztráty půdy. Ztrátu půdy lze určit nejen pro celý svah, ale i pro jakýkoli bod na svahu. Model je možné využít k velkému množství simulací, které nelze reálně testovat v přírodních podmínkách. Základ, ze kterého model vychází, je rozdělení erozního procesu na mezirýhovou a rýhovou erozi (USDA, 2011).

Model WEPP je možné rozdělit na dvě části:

- Modul pro svah
- Modul pro povodí.

Modul pro svah je stanoven tam, kde nedochází k soustředěnému odtoku. Vhodná délka svahu je uvedena v desítkách metrů a vyplývá z topografie území.

Zohledněné parametry:

- Drsnost povrchu svahu
- Prostorová i časová proměnlivost reliéfu
- Vlastnosti půdy a plodiny
- Využití území

Model obsahuje velké množství procesů: evaporaci a transpiraci, infiltraci, povrchový odtok, rýhovou a mezirýhovou erozi, tání sněhu, transport a následné ukládání sedimentu, růst rostlin, rozklad rostlinných zbytků, vliv vegetace na infiltraci a rozrušení půdního pokryvu, vliv klimatu, ale i vliv orby na půdní vlastnosti (*Klímová, 2011*).

Modul pro povodí charakterizuje erozi a ukládání ve vodním toku a nádržích. Vhodné měřítko území se pohybuje ve stovkách metrů. Pro povodí větší než 100 m² je potřeba území topograficky zdokumentovat. Výpočet ztráty půdy nepočítá s klasickou rýhovou erozí, která vymezuje jen místa, kde je intenzita deště vyšší než infiltrace. Podpovrchový odtok je zanedbatelný (*Klímová, 2011*).

V roce 2001 po propojení WEPP s geografickým informačním systémem s využitím digitálních modelů terénu k popisu povodí vznikl GeoWEPP (*Flanagan et al, 2007; Klímová, 2011*).

3.3. MODEL SMODERP

SMODERP neboli Simulační Model Odtoku a Erozního Procesu. Simulační model byl vyvinut na Stavební fakultě ČVUT v Praze (katedra hydromeliací a krajinného inženýrství) s využitím fyzikálních principů pro podmínky České republiky. Důvodem vzniku bylo řešení návrhů protierozní ochrany pro zemědělských pozemků, pro stabilizaci silničních svahů, svahů výsypek, apod. (*Janeček, 2008*).

Model se skládá ze dvou modulů - erozní a hydrologický.

Erozní modul je model plošné rýžkové a mezirýžkové eroze. Hydrologický modul je model plošného povrchového odtoku. Pro modelování je řešený svah rozdělen na homogenní úseky z pohledu morfologických, půdních a vegetačních poměrů.

Umožňuje stanovit:

- Míru erozního ohrožení pozemků
- Odtokové charakteristiky plošného povrchového odtoku (kulminační průtok, objem odtoku) pro návrhový déšť
- Přípustnou délku pozemku.

Model se dá použít pro stanovení:

- Charakteristiky povrchového odtoku v daném profilu svahu a daném časovém úseku od počátku deště - hloubka, kulminační průtok, objem odtoku, rychlost a tangenciální napětí plošného povrchového odtoku
- Přípustné délky svahu na bázi krajní nevymílací rychlosti a krajního nevymílacího tečného napětí (*Janeček, 2008*).

Základní vstupní údaje pro každý řešený úsek svahu:

- Morfologické údaje – sklon, délka a šířka svahu
- Pedologické údaje – drsnost půdního povrchu a jeho retenční schopnosti, půdní druh, součinitel nasycené hydraulické vodivosti, sorptivita
- Vegetační poměry – C faktor z rovnice USLE, druh vegetačního krytu, Manningův součinitel drsnosti, poměrná listová plocha.

Pokud nejsou známy hodnoty z terénního průzkumu, tak jsou v návodu uvedeny hodnoty doporučené. V návodu jsou také uvedeny hodnoty návrhových dešťů pro různou pravděpodobnost výskytu. Maximální délka a šířka svahu je 1000m.

Výstupy modelu poskytují základ pro navržení protierozních prvků ochrany na jednotlivém pozemku s nehomogenními morfologickými, půdními a vegetačními poměry o velikosti do 100 ha.

Využití modelu umocňuje možnost jeho spojení s GIS při zpracování vstupních údajů a grafické prezentaci výsledků (*Janeček, 2008*).

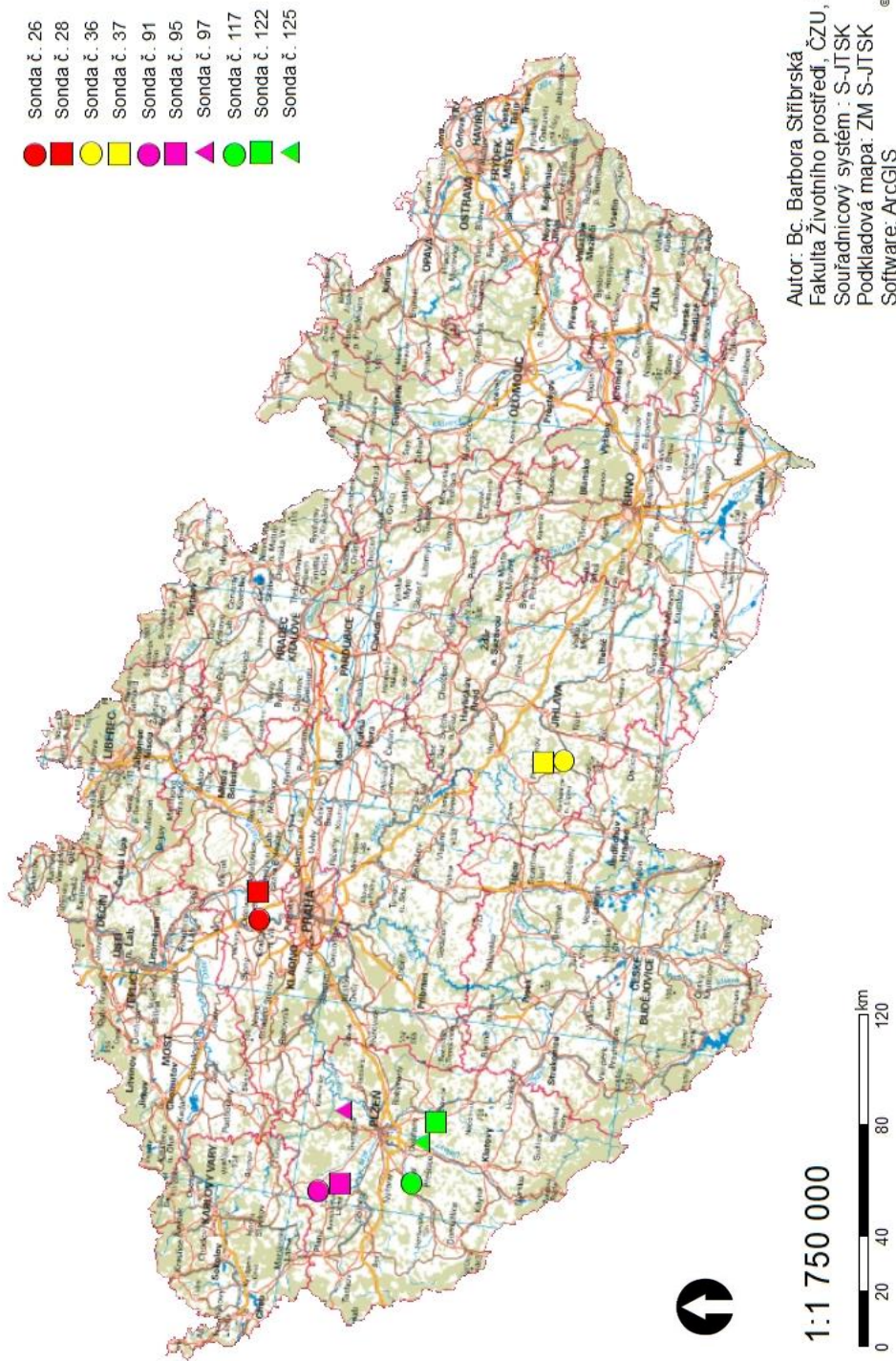
4. CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

Odběr vzorků probíhal ve čtyřech okresech: Pelhřimov, Plzeň - Sever, Plzeň - Jih a Praha západ. Konkrétní odběr z celkového počtu deseti sond probíhal v katastrálních územích, které lze vyčíst z Tabulky 2 a lze vidět na Obrázku 3.

Sonda	Kat. území GIS	X_S-JTSK	Y_S-JTSK
36	Horní Cerekev	-687758,1483	-1135853,8123
37	Sázava pod Křemešníkem	-688003,6232	-1128413,3521
91	Krsy	-842965,2132	-1046893,5296
95	Pernarec	-840371,4400	-1054835,6567
97	Jarov	-813980,0000	-1056500,0000
117	Lelov	-840340,4778	-1081078,7310
125	Chocenický Újezd	-825690,0000	-1084590,0000
122	Snopoušovy	-817960,0000	-1089550,0000
26	Zlončice	-745220,0000	-1025620,0000
28	Kojetice u Prahy	-734840,0000	-1026150,0000

Tabulka 2 Polohopis odběru vzorků ze sond

Situace - umístění odběru vzorků



Autor: Bc. Barbora Stříbrská
Fakulta Životního prostředí, ČZU, 2019
Souřadnicový systém : S-JTSK
Podkladová mapa: ZM S-JTSK
© ČÚZK

Obrázek 3 Situace - umístění odběru vzorků

4.1. PODLOŽÍ

Na daných územích se vyskytují půdní typy: černozem, hnědozem, kambizem, luvizem, pseudoglej, ranker a regozem. Nejčastějším zastoupením půdního typu je kambizem. Lze vyčíst z Tabulky 3. Na Obrázcích 4 až 13 je možné vidět sondírkou odebrané vzorky z jednotlivých sond.

Sonda	Půdní typ (TKSP, 2001)	Subtyp 1 (TKSP,2001)
36	kambizem	modální
37	kambizem	psefiticka
91	ranker	modální
95	kambizem	rankerova
97	luvizem	oglejená
117	hnědozem	modální
125	pseudoglej	luvický
122	kambizem	psefitická
26	černoze	modální
28	regozem	modální

Tabulka 3 Zastoupení půdních typů a subtypů

4.1.1 PŮDNÍ TYPY

KAMBIZEM

Kambizemě jsou nejrozšířenějším půdním typem v České republice. Řadí se mezi půdy se střední a nižší kvalitou. Nejčastěji je najdeme v nadmořských výškách 450 – 800 m.n.m.. Většinou se nacházejí na svazích, hřebenech či vrcholech. V nížinách se vyskytují minimálně. Vyskytují se ve vlhčím mírně teplém podnebí, s ročním úhrnem srážek kolem 500 – 900 mm.

Kambizemě se vyvinuly pod původními listnatými a smíšenými lesy. Hlavní půdotvorný proces je intenzivní vnitropůdní zvětrávání (hnědnutí) horizontu. Tento proces se nazývá braunifikace a je zapříčiněn uvolňováním železa a hliníku z krystalických mřížek minerálů. Další ovlivňující proces je proces přeměny a tvorby jílu. Většinou kambizemě bývají mělké a skeletovité. Zrnitostní složení závisí na charakteru matečné horniny.

Vrstvy kambizemě:

- Humusový horizont
- Kambický horizont
 - Hnědá až rezivohnědá barva
 - Zde probíhá intenzivní vnitropůdní zvětrávání
- Pověštinou světle zbarvená a méně zvětralá hornina – obsahuje více skeletu

Nejrozšířenějšími půdními subtypy kambizemí v České republice jsou:

- Modální
- Luvická
- Oglejená
- Dystrická
- Arenická
- Pelická

Nevýhoda kambizemí je malá mocnost půdního profilu, výskyt ve členitém terénu, půdní kyselost a vyšší obsah skeletu. Nejčastěji se na nich pěstují brambory, len a méně náročné obiloviny (oves, žito). Jsou dobré i pro lesní stanoviště (Vopravil, 2010).

LUVIZEM

Luvizemě jsou rozšířeny ve středních výškových polohách, nejčastěji v pahorkatinách a vrchovinách. Řadí se mezi hluboké půdy s nízkým obsahem skeletu, se sklony k občasnému převlhčení, díky tomu jsou častou odvodňovány. Nejčastějším půdním substrátem jsou sprašové hlíny, středně těžké glaciální sedimenty, smíšené svahoviny či hluboké zvětralinové pevných hornin.

Luvizemě vznikly pod převážně kyselými doubravami a bučinami. Hlavní půdotvorný proces je illimerizace. Tento proces je posun vysokodisperzní frakce jílu spolu s povlaky nesilikátového Al a Fe profilu. Často se setkáváme s oglejením luvizemě.

Vrstvy luvizemě:

- Humusový horizont
- Eluviální (ochuzený) horizont
 - Několik decimetrů mocný
 - Deskovitá až lístkovitá struktura
- Iluviální (obohacený) horizont
 - Prizmatická struktura
 - Zasahuje až do matečného substrátu

Nejrozšířenějšími půdními subtypy luvizemí v České republice jsou:

- Modální
- Oglejená
- Dystrická
- Arenická

Nejčastěji se na luvizemích pěstují obiloviny, jetel a v nižších polohách i cukrovka a vojtěška. Ovšem je nutné je často hnojit a vápnit. Jedná se o půdy nej náchylnější k vodní erozi z důvodu promísení ochuzeného horizontu s orníci, kde se nachází velké množství prachových částic (Vopravil, 2010).

ČERNOZEM

Černozemě jsou nejhodnotnější a nejúrodnější půdní typ v České republice. Řadí se mezi půdy středně těžké, bez obsahu skeletu, s vysokým obsahem kvalitního humusu. Má velmi dobré sorpční vlastnosti. Nadmořská výška výskytu většinou nepřesahuje 300 m.n.m.. Vyskytují se v našich nejsušších a nejteplejších oblastech s průměrnou roční teplotou nad 8°C a ročním úhrnem srážek kolem 450 – 650 mm.

Černozemě se vyvinuly pod původní stepí a lesostepí v raných obdobích postglaciálu. Hlavní půdotvorný proces je intenzivní humifikace.

Vrstvy černozemě:

- Humusový (černický) horizont
 - Zasahuje až do hloubky 80 cm
 - Odolná vodostátná struktura
 - Značně oživený (edafon)
- Podkladová vrstva – ve velké části spraše

Nejrozšířenějšími půdními subtypy černozemí v České republice jsou:

- Modální
- Luvická
- Arenická
- Pelická

V současnosti jsou černozemě využívány jako orná půda. Jsou často ohrožovány větrnou a vodní erozí, utužením půdy, nevratným záborem půdy pro výstavbu (vynětí v dnešní době skoro nemožné). Jsou náchylné k vysychání. Černozemě jsou vhodné pro naše nejnáročnější plodiny (cukrovka, ječmen, kukuřice, zelenina a vojtěška). Pro pěstování plodin pod závlahou (rané brambory, zelenina ...) je vhodná zrnitostně lehká černozem arenická (Vopravil, 2010).

HNĚDOZEM

Hnědozem je zemědělsky velice hodnotná půda v České republice, která se řadí nejčastěji mezi půdy zrnitostně středně těžké až těžké půdy. Hnědozemě jsou rozšířeny v nižším stupni pahorkatin a v okrajových částech nížin. Nadmořská výška výskytu je většinou v rozmezí 200 - 450 m.n.m.. Vyskytují se v jemně vlhčích oblastech než černozem s průměrnou roční teplotou od 7°C do 9°C a ročním úhrnem srážek kolem 500 – 700 mm.

Hnědozemě znikly pod původními dubohabrovými lesy. Nejčastějším půdotvorným substrátem je spraš, sprašová hlína či smíšená svahovina. Hlavní půdotvorný proces je illimerizace. Tento proces je ochuzení svrchní části profilu o jílnaté částice, které jsou vodou transportovány do spodních půdních vrstev.

Vrstvy hnědozemě:

- Humusový horizont
- Eluviální (ochuzený) horizont
 - Zesvětlený
 - U většiny zemědělských půd je priorán k ornici – není patrný v půdním profilu
- Iluviální (obohacený) horizont
 - Cca 30-50 cm pod eluviálním horizontem, hnědý až rezivohnědý
 - Obohacený o nejjemnější jílovou zrnitostní frakci
 - Zrnitostně těžší než eluviální horizont

Nejrozšířenějšími půdními subtypy hnědozemí v České republice jsou:

- Modální
- Luvická
- Oglejená
- Pelická

V současnosti jsou půdy častokrát ohroženy vodní erozí. V porovnání s černozemí je složení humusu nižší, sorpční vlastnosti jsou zhoršeny a jsou méně náchylné k vysychání. Vhodné plodiny jsou náročné obiloviny (pšenice, ječmen), cukrovka a vojtěška (Vopravil, 2010).

PSEUDOGLEJ

V České republice patří pseudoglej mezi méně úrodné půdy. Zrnitostně se řadí mezi půdy těžší až těžké. Patří mezi půdy semihydromorfní, které jsou typické periodickým provlhčením půdního profilu. Díky tomuto provlhčení se vytvořil výrazný redoximorfní mramorovaný horizont. Pseudoglej s provlhčením může obsahovat poměrně vysoký obsah organických látek. Pseudogleje jsou zastoupeny ve středních výškových polohách, převážně v depresích či plošinách. Vyskytují se v humidnějším podnebí, s průměrnou roční teplotou od 6°C do 8°C s ročním úhrnem srážek kolem 550 – 900 mm.

Pseudogleje se vytvořily pod kyselými bučinami a doubravami. Na Ostravsku pod březovými doubravami. Hlavní půdotvorný proces je oglejení, dalším ovlivňujícím procesem, který se často vyskytuje je illimerizace (posun prvků/částic profilem).

Vrstvy pseudogleje:

- Humusový horizont (ornice)
- Vybělený horizont s tmavými Fe a Mn bročky
 - Pseudogleje vyvinuté z těžších substrátů – nemají tento horizont
- Mramorovaný horizont
 - Střídání vybělených partií s partiemi rezivými a hnědými
 - Pestrobarevnost – výsledek procesů mobilizace Fe a Mn a jejich oxidace (vysoušení) a redukce (převlhčení)

Nejrozšířenějšími půdními subtypy pseudoglejů v České republice jsou:

- Modální
- Luvický
- Kambický
- Glejový (amfiglej)
- Pelický

Nevýhoda pro využití pseudoglejů k zemědělské činnosti je nutnost odvodnění, díky kterému se následně půdě zlepší provzdušnění. Je třeba často upravovat půdní kyselost. Vhodné plodiny jsou jetel a obiloviny, v nižších polohách cukrovka a vojtěška (Vopravil, 2010).

RANKER

Rankery patří mezi slabě vyvinuté půdy (půdy v počátečním půdním vývoji), které se vyskytují poměrně hojně v reliéfově členitých středních až vyšších polohách. Díky vysokému obsahu skeletu se nacházejí převážně na lesních stanovištích. Půdotvorný substrát se skládá z kamenitých až balvanitých deluvií nekarbonátových hornin. Rankery obvykle pokrývají příkřejší svahy a jejich úpatí. Původní vegetací jsou především suťové lesy na svazích.

Minerální podíl jemnozeme je poměrně nízký. Hlavní půdotvorný proces je humifikace. Rankery patří k důležitým faktorům infiltrace vody do půdy (především v pramenných oblastech).

Vrstvy rankeru:

- Humusový horizont
 - Vysoký podíl z části rozložené organické hmoty, vyplňuje mezi horninovým skeletem
- Půdní substrát
 - Tvořen fyzikálně rozpadlou přemístěnou horninou s obsahem skeletu > 50 %

Nejrozšířenějšími půdními subtypy rankerů v České republice jsou:

- Modální
- Kambický
- Dystrický
- Litický

(Vopravil, 2010).

REGOZEM

Regozemě jsou v České republice rozšířené především v nižších polohách a patří do skupiny půd s přirozenou nízkou úrodností. Regozemě patří mezi půdy slabě vyvinuté. Jejich vznik je podmíněn především matečním substrátem, kterými jsou písčité sedimenty extrémně chudé na minerály. Vyskytují se v rovinných či jen velmi mírně zvlněných terénech (duny navátých písků).

Regozemě se vytvořily pod chudými borovými lesy. Hlavní půdotvorný proces je slabá humifikace, která probíhá pouze v nejsvrchnější části půdního profilu ovlivněném kultivací.

Vrstvy regozemě:

- Humusový horizont
 - Mělký
 - Ostře přechází v mateční substrát
- Mateční substrát
 - Většinou lehčí zrnivý horizont

Nejrozšířenějšími půdními subtypy regozemí v České republice jsou:

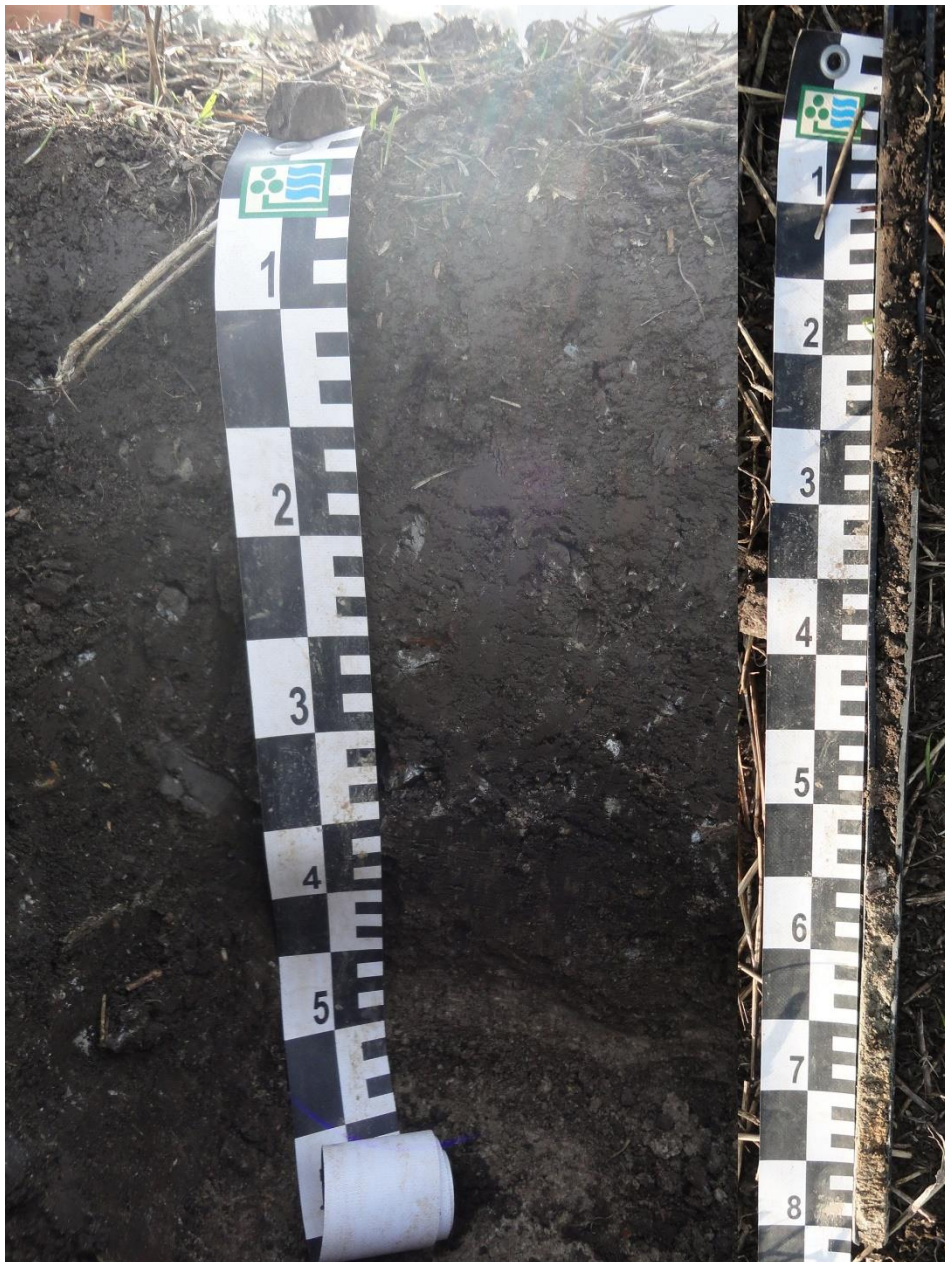
- Modální
- Oglejená
- Karbonátová
- Dystrická
- Arenická

Regozemě jsou půdy umožňující brzkou kultivaci, která je způsobena dobrou záhřevností půdy. Vhodné plodiny pro regozemě jsou ranné brambory a žito. Při závlaze a intenzivním hospodaření lze na regozemích velice úspěšně pěstovat zeleninu (*Vopravil, 2010*).

4.1.2 JEDNOTLIVÉ PŮDNÍ ODBĚRY

SONDA 26

Půdní typ sondy 26 je černozem s modálním subtypem. Černozem modální je vyvinutá ze spraší (Vopravil, 2010). Její bonitovaná půdně ekologická jednotka má číslo 10700, její hlavní půdní jednotka je 07. Odběr probíhal na katastrálním území Zlončice v bývalém okrese Praha - Západ. Nadmořská výška odběru je 225 m.n.m.. Vzhled sondy s měřítkem je možné vidět na Obrázku 4.



Obrázek 4 Půdní sonda č. 26 a půdní sondírka odběru (Autor: O.Holubík)

SONDA 28

Půdní typ sondy 28 je regozem s modálním subtypem. Regozem modální je bezkarbonátová a vzniká ze zrnitostně středně těžkých substrátů (Vopravil, 2010). Její bonitovaná půdně ekologická jednotka má číslo 20501 a hlavní půdní jednotka je 05. Odběr probíhal na katastrálním území Kojetice u Prahy v bývalém okrese Praha - Západ. Nadmořská výška odběru je 163 m.n.m.. Vzhled sondy s měřítkem je možné vidět na Obrázku 5.



Obrázek 5 Půdní sonda č. 28 a půdní sondírka odebraného vzorku (Autor: O.Holubík)

SONDA 36

Půdní typ sondy 36 je kambizem s modálním subtypem. Kambizem modální je vyvinutá ze zrnitostně těžkých a lehčích půdních substrátů (Vopravil, 2010). Její bonitovaná půdně ekologická jednotka má číslo 83421, její hlavní půdní jednotka je 34. Odběr probíhal na katastrálním území Horní Cerekev v bývalém okrese Pelhřimov. Nadmořská výška odběru je 587 m.n.m.. Vzhled odebraného vzorku za pomoci půdní sondírky s měřítkem je možné vidět na Obrázku 6.



Obrázek 6 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 36 (Autor: O.Holubík)

SONDA 37

Půdní typ sondy 37 je kambizem se subtypem psefitickým. Její bonitovaná půdně ekologická jednotka má číslo 83434, její hlavní půdní jednotka je 34. Odběr probíhal na katastrálním území Sázava pod Křemešником v bývalém okrese Pelhřimov. Nadmořská výška odběru je 710 m.n.m.. Vzhled odebraného vzorku za pomoci půdní sondírky s měřítkem je možné vidět na Obrázku 7.



Obrázek 7 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 37 (Autor: O.Holubík)

SONDA 91

Půdní typ sondy 91 je ranker s modálním subtypem. Ranker modální má hodnotu nasycenosti sorpčního komplexu u zemědělsky využívaných půd > 30 % a u lesních půd > 20% (Vopravil, 2010). Bonitovaná půdně ekologická jednotka sondy má číslo 72614, její hlavní půdní jednotka je 26. Odběr probíhal na katastrálním území Krsy v bývalém okrese Plzeň - Sever. Nadmořská výška odběru je 625 m.n.m.. Vzhled odebraného vzorku pomocí půdní sondírky s měřítkem je možné vidět na Obrázku 8.



Obrázek 8 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 91 (Autor: L. Vlček)

SONDA 95

Půdní typ sondy 95 je kambizem s rankerovým subtypem. Její bonitovaná půdně ekologická jednotka má číslo 52601, její hlavní půdní jednotka je 26. Odběr probíhal na katastrálním území Pernarec v bývalém okrese Plzeň - Sever. Nadmořská výška odběru je 510 m.n.m.. Vzhled odebraného vzorku za pomoci půdní sondírky s měřítkem je možné vidět na Obrázku 9.



Obrázek 9 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 95 (Autor: L. Vlček)

SONDA 97

Půdní typ sondy 97 je luvizem s oglejeným subtypem. V tomto půdním subtypu se v eluviálním horizontu vytvářejí bročky a v illuviálním horizontu se vytvářejí středně výrazné znaky mramorování (Vopravil, 2010). Její bonitovaná půdně ekologická jednotka má číslo 45111, její hlavní půdní jednotka je 51. Odběr probíhal na katastrálním území Jarov v bývalém okrese Plzeň - Sever. Nadmořská výška odběru je 410 m.n.m.. Vzhled odebraného vzorku za pomoci půdní sondírky s měřítkem je možné vidět na Obrázku 10.



Obrázek 10 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 97 (Autor: L. Vlček)

SONDA 117

Půdní typ sondy 117 je hnědozem s modálním subtypem. Hnědozem modální je půda zrnitostně středně těžká, vyvinutá ze spraší, prachovic či polygenetických hlín (Vopravil, 2010). Její bonitovaná půdně ekologická jednotka má číslo 43014, její hlavní půdní jednotka je 30. Odběr probíhal na katastrálním území Lelov v bývalém okrese Plzeň - Jih. Nadmořská výška odběru je 370 m.n.m.. Vzhled odebraného vzorku za pomoci půdní sondírky s měřítkem je možné vidět na Obrázku 11.



Obrázek 11 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 117 (Autor: L. Vlček)

SONDA 122

Půdní typ sondy 122 je kambizem se subtypem psefitickým. Její bonitovaná půdně ekologická jednotka má číslo 42213, její hlavní půdní jednotka je 22. Odběr probíhal na katastrálním území Snopoušovy v bývalém okrese Plzeň - Jih. Nadmořská výška odběru je 375 m.n.m.. Vzhled odebraného vzorku za pomoci půdní sondírky s měřítkem je možné vidět na Obrázku 12.



Obrázek 12 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 122 (Autor: L. Viček)

SONDA 125

Půdní typ sondy 125 je pseudoglej se subtypem luvickým. Pseudoglej luvický má nad mramorovým horizontem vyvinutý vybělený horizont (Vopravil, 2010). Její bonitovaná půdně ekologická jednotka má číslo 54610, její hlavní půdní jednotka je 46. Odběr probíhal na katastrálním území Chocenický Újezd v bývalém okrese Plzeň - Jih. Nadmořská výška odběru je 430 m.n.m.. Vzhled odebraného vzorku za pomoci půdní sondírky s měřítkem je možné vidět na Obrázku 13.



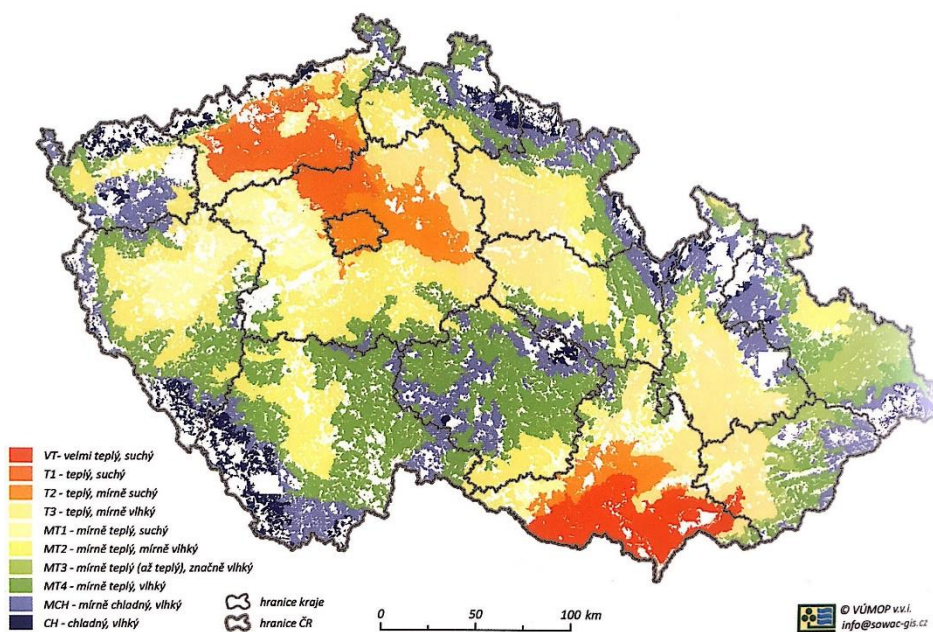
Obrázek 13 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 125 (Autor: L. Vlček)

4.2. KLIMATICKÉ CHARAKTERISTIKY

Většina odběrů se vyskytuje v mírně teplém, suchém klimatickém regionu (MT1). Do tohoto regionu spadají sondy číslo 91, 95, 97, 117, 122 a 125. Sondy číslo 26 a 28 se vyskytují v teplém, mírně suchém regionu (T2) a sondy číslo 36 a 37 se vyskytují v mírně teplém, vlhkém regionu (MT4). Charakteristiky jednotlivých regionů je možné vidět v Tabulce 4. Znázornění klimatických regionů je vidět na Obrázku 14.

Základní charakteristiky klimatických regionů České republiky							
Kód KR	Symbol KR	Charakteristika regionu	Suma dnů teplot nad 10 °C	Průměrná roční teplota (°C)	Průměrný úhm srážek (mm)	Pravděpodobnost suchých vegetačních období v %	Vláhová jistota ve vegetačním období
2	T2	teplý, mírně suchý	2600 - 2800	8 - 9	500 - 600	20 - 30	2 - 4
4	MT 1	mírně teplý, suchý	2400 - 2600	7 - 8,5	450 - 550	30 - 40	0 - 4
7	MT 4	mírně teplý, vlhký	2200 - 2400	6 - 7	650 - 750	5 - 15	Nad 10

Tabulka 4 Charakteristiky klimatických regionů (Vopravil, 2011)



Obrázek 14 Znázornění klimatických regionů České republiky (Vopravil, 2011)

5. METODIKA

Práce je zaměřena na přesné stanovení K-faktoru, neboli faktoru erodovatelnosti půdy z Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE – Rovnice 1). V inženýrské praxi je běžným postupem přibližné odvození faktoru erodovatelnosti půdy za pomoci hlavní půdní jednotky, kterou lze vyčíst z mapy BPEJ. Pro získání vhodných dat pro výpočet, byla posuzována tato metoda, za pomoci získaných půdních dat, vzešlých z terénních a laboratorních měření. Základními parametry pro výpočet K-faktoru jsou infiltrace, vlhkost, obsah humusu, struktura a zrnitost. Pro modelové území byla připravena tato podkladová data a byly vypočteny K-faktory podle různých přístupů.

U všech vzorků půdy byly vytvořeny na základě zrnitostních analýz zrnitostní křivky, z nichž byl odečten procentuální obsah částic velikosti 0,002 – 0,1 mm a 0,1 – 2 mm. Zrnitostní křivka je součtovou čarou, která prezentuje procentuální zastoupení částic určitého průměru a všech částic menších. Na horizontální ose je průměr částic, která je v logaritmickém měřítku a na vertikální ose je procentuální zastoupení částic v dekadickém měřítku (Obrázek 17 – Obrázek 26).

Základem pro kreslení zrnitostní křivky jsou jednotlivé body, které jsou grafickým znázorněním párových hodnot průměrů částic a jejich procentuálního zastoupení (Jandák, 1989).

5.1 VÝPOČET K-FAKTORU

K-faktor specifikuje erodovatelnost půdy, což je schopnost půdy odolávat působení deště. Je vyjádřený v závislosti na struktuře a textuře organické hmoty a na propustnosti půdního profilu. K-faktor je odnos půdy na jednotku R faktoru (faktor erozní účinnosti deště) z jednotkového pozemku (délka pozemku 22,13 m, sklon 9%, kypřený černý úhor obděláván po spádnici). Jednotkou K-faktoru je $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot cm^{-1}$ (Janeček, 2008).

K-faktor lze vyjádřit několika možnostmi. Přibližnou hodnotu K-faktoru je možné získat z 2. a 3. čísla BPEJ, která udávají hlavní půdní jednotku, kterou lze vyhledat v tabulce dle bonitační soustavy půd. Tabulka 5 s hodnotami K-faktoru je pro ČR jen v omezené míře (Janeček, 2012).

HPJ	K - faktor	HPJ	K - faktor
01	0,41	40	0,24
02	0,46	41	0,33
03	0,35	42	0,56
04	0,16	43	0,58
05	0,28	44	0,56
06	0,32	45	0,54
07	0,26	46	0,47
08	0,49	47	0,43
09	0,60	48	0,41
10	0,53	49	0,35
11	0,52	50	0,33
12	0,50	51	0,26
13	0,54	52	0,37
14	0,59	53	0,38
15	0,51	54	0,40
16	0,51	55	0,25
17	0,40	56	0,40
18	0,24	57	0,45
19	0,33	58	0,42
20	0,28	59	0,35
21	0,15	60	0,31
22	0,24	61	0,32
23	0,25	62	0,35
24	0,38	63	0,31
25	0,45	64	0,40
26	0,41	65	nedostatek dat
27	0,34	66	nedostatek dat
28	0,29	67	0,44
29	0,32	68	0,49
30	0,23	69	nedostatek dat
31	0,16	70	0,41
32	0,19	71	0,47
33	0,31	72	0,48
34	0,26	73	0,48
35	0,36	74	nedostatek dat
36	0,26	75	nedostatek dat
37	0,16	76	nedostatek dat
38	0,31	77	nedostatek dat
39	nedostatek dat	78	nedostatek dat

Tabulka 5 Hodnoty K-faktoru dle HPJ z BPEJ (Janeček, 2012)

Další možností přibližného stanovení K-faktoru je možné dle klasifikace půd z půdních typů a subtypů dle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR, který je možno vidět v Tabulce 6 (Janeček, 2012).

Půdní typ	Subtyp	K - faktor	Půdní typ	Subtyp	K - faktor
Ranker	modální	0,26	Šedozem	modální	0,57
	kambický	0,25		luvicá	0,59
	podzolový	0,24	Hnědozem	modální	0,53
Rendzina	modální	0,22		luvicá	0,58
	kambická	0,30	Luvizem	oglejená	0,53
Pararendzina	modální	0,26		modální	0,60
	kambická	0,36		oglejená	0,56
	oglejená	0,24	Kambizem	arenická	0,31
Regozem	modální	0,22		modální (eutrofní)	0,32
	psefitická	0,18		luvicá	0,50
	arenická	0,17	oglejená	0,34	
Fluvizem	modální	0,40		dýstrická	0,32
	glejová	0,42		arenická	0,20
	arenická	0,26		pelická	0,30
Smonice	modální	0,28		psefitická	0,30
Černozem	modální	0,40	Kryptopodzol	modální	0,20
	luvicá	0,54	Podzol	modální	0,25
	černická	0,35		arenický	0,20
	arenická	0,16	Pseudoglej	modální	0,42
	pelická	0,28		luvicý	0,54
	Černice	modální		0,30	glejový
glejová		0,34	Glej	modální	0,42
pelická		0,32		modální (zrašeliněný)	0,46

Tabulka 6 Hodnoty faktoru K pro půdní typy a subtypy (Janeček, 2012)

Jestliže není možné vyčíst K-faktor z tabulek, použijeme výpočet. Pokud v půdě obsah práškového písku a prachu (0,002 – 0,1 mm) nepřekročí 70% lze K-faktor určit z Rovnice 3:

$$100K = 2,75M^{1,14} * 10^{-4} * (12 - a) + 3,25 * (b - 2) + 2,5 * (c - 3)$$

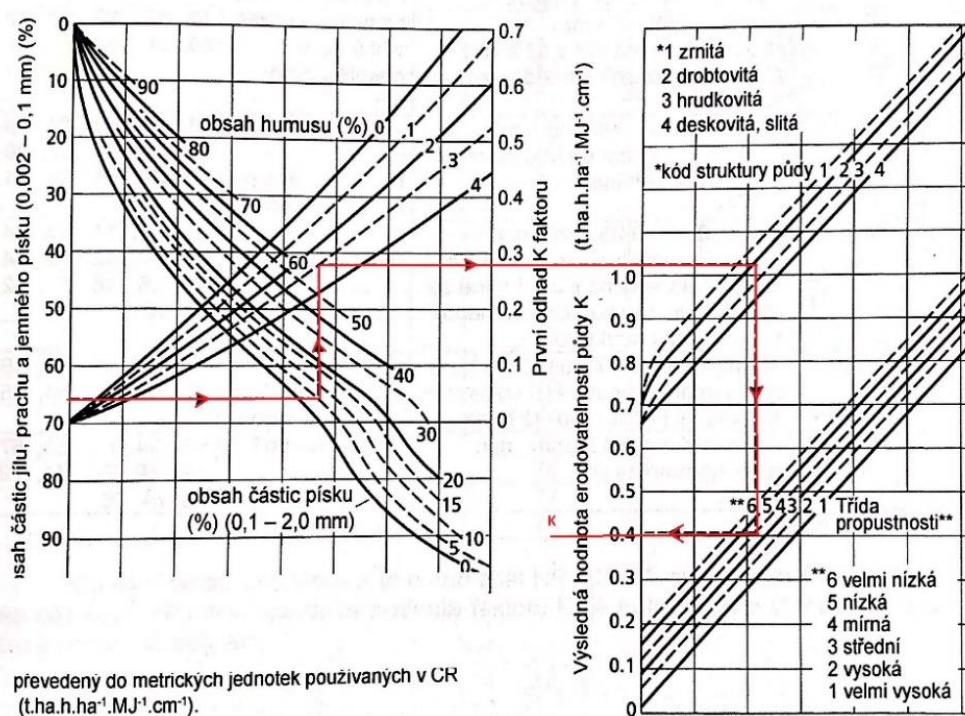
M – (%částic o velikosti 0,002-0,1 mm)*(100 - % částic < 0,002mm)

a – % organické hmoty

b – třída struktury ornice

c – třída propustnosti půdního profilu (Dufková, 2005).

K-faktor je také možné určit z nomogramu (Obrázek 15), je ovšem potřeba znát obsah humusu % a obsah částic písku.



Obrázek 15 Nomogram pro určení K-faktoru (Janeček, 2008)

Nejdůležitější vyjádření K-faktoru je za pomoci rovnice USLE z Rovnice 1 (Rovnice 4)

$$K = \frac{G}{R * L * S * C * P}$$

G – dlouhodobá ztráta půdy erozí [t*ha⁻¹*rok⁻¹]

R – erozní účinnost deště [MJ*ha⁻¹*cm*h⁻¹]

K – erodovatelnost půdy [t*h*MJ⁻¹*ha⁻¹*cm⁻¹]

L – délka svahu [-]

S – sklon svahu [-]

C – ochranný vliv vegetace [-]

P – účinnost protierozních opatření [-] (Janeček, 2008)

Další možné a přesnější vyjádření je za pomoci rovnice RUSLE, která zohledňuje půdní agregáty, zhutňování a zpřesňuje časový průběh. Jednou z možností vyjádření RUSLE z postupu El-Swaify and Dangler (1976) pro tropické půdy, která používá procentuální zastoupení jílnaté části (0,002 – 0,1 mm), procentuální zastoupení písčité části (0,1-2 mm), propustnost půdy, procentuální zastoupení nestabilních agregátů a procento velmi jemnozrnného písku, možné vidět v Rovnici 5 (*AngimaSD,2003*):

$$K = -0,03970 + 0,00311 * X1 + 0,00043 * X2 + 0,00185 * X3 + 0,00258 * X4 - 0,00823 * X5$$

X1 – procento nestabilních agregátů menších jak 0,25 mm

X2 – procento jílnatých částic (0,002 – 0,1mm) a písčitých částic (0,1- 2 mm)

X3 – procento propustnosti půdy

X4 – procentu jílnatých částic o velikosti 0,002 – 0,050 mm

X5 – procento písčitých částic o velikosti 0,1- 2 mm

V této metodě jakákoliv půda, která prošla sítím o velikosti 0,21 mm se v této rovnici považuje jako nestabilní agregační frakce. (*S.D. Angima a spol.,2003*)

5.2 ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ V LABORATOŘI

Existuje několik metod zpracování vzorků v laboratoři k získání potřebných výsledků a zpracování vzorků k dalším výpočtům. Zde jsou uvedeny dva způsoby zpracování vzorků. První způsob využívá CN analyzátoru, do kterého je třeba dodat již předem upravené vzorky, které byly zpracovány za pomoci hustoměrné metody dle A. Casagrande. Další možností je získání oxidovaného uhlíku za pomoci metody ztráty žihání. Poslední z uvedených možností je metoda stanovení agregátové stability WSA, kterou jsme využívali my pro zjištění jednotlivých zrnitostních skupin.

5.2.1. STANOVENÍ ZRNITOSTI PŮDY HUSTOMĚRNOU (AEROMETRICKOU) METODOU PODLE A. CASAGRANDE

Princip metody

Potřeby a zařízení

- Tenkostěnná porcelánová miska
- Skleněná tyčinka
- Kuchyňská třerka
- Kahan
- Trojnožka
- Azbestová síťka
- Míchadlo
- Sedimentační (odměrný) válec (1000 ml)
- Hustoměr
- Teploměr
- Disperzní činidlo – Hexametafosforečnan sodný

Příprava činidla

Smícháme 35,7 g fosforečnanu sodného (NaPO_3) s 7,94 g uhličitanu sodného (Na_2CO_3), které rozpustíme v destilované vodě a doplníme na 1000 ml.

Kalibrace hustoměru a válce

Během kalibrace jsou zjištěny parametry hustoměru a válce, díky kterým budou přepočteny hustoměrná čtení na střední hloubku ponoření hustoměru. Kalibrace je provedena v přestávkách mezi měřeními (*Valla a spol., 2006*).

S – počet tisícinových dílků stupnice hustoměru mezi ryskami (1,000 – 1,030)

L – délka stupnice hustoměru (cm)

vzdálenost mezi ryskami 1,000 – 1,030

V – objem hrušky v hustoměru (cm³)

do prázdného odměrného válce je napuštěna voda po rysku 900 ml a následně je do válce vložen hustoměr po rysku hustoměru 1,030, zvýšení objemu ve válci nad 900 ml odpovídá objemu hustoměru V

h/2 – poloviční výška hustoměru (cm)

hustoměr je ponořený do válce s vodou tak, aby vytlačil vodu o objemu $\frac{1}{2} V$ za pomoci tyčinky s praporkem, v této poloze změříme h/2 jako vzdálenost od rysky 1,030 po hladinu

F – průřezová plocha válce (cm²)

Na válci se suspenzí změříme vzdálenost **z** mezi ryskami 100 a 1000 ml (cm)

$$F = 900 / z \text{ (podíl objemu a výšky)}$$

Konečné vyhodnocení

Do grafu zrnitostní křivky je na osu vyneseno y procentuální zastoupení v závislosti na průměru částic d na ose x. Zrnitostní křivka pro jemnozlem začíná na 100% v průměru d = 2 mm a je ukončena za posledním známým bodem. Součet všech kategorií musí být roven 100%.

Hodnoty pro jednotlivé kategorie:

- I. Kategorie: < 0,01 mm
- II. Kategorie: 0,01 – 0,05 mm
- III. Kategorie: 0,05 – 0,1 mm
- IV. Kategorie: 0,1 – 2 mm

Z hodnoty obsahu I. zrnitostní kategorie je určen půdní druh dle Novákovy klasifikační stupnice (*Valla a spol.,2006*).

Postup stanovení

Preparace vzorku:

Cílem preparace je rozbití struktury půdních agregátů.

1. Dle orientačního odhadu pomocí projmutí prstů stanovíme půdní druh, dle něhož zvolíme navážku (v našem případě jsme navažovali 50 g)
2. Navážené množství jemnozeme (částice menší jak 2 mm) dáme do tenkostěnné varné porcelánové nádoby
3. Zeminu zalijeme tolika ml destilované vody a dispergačního činidla (v našem případě 50 ml) jako gramů naváženého vzorku jemnozeme
4. Směs přivedeme pomocí trojnožky se sítkou a kahanem k varu, promícháváme skleněnou tyčinkou, aby nedocházelo k připalování
5. Směs necháme pozvolna vychladnout
6. Veškerou vychladlou směs přemístíme do sedimentačního válce, z varné nádoby veškeré zbytky vypláchneme destilovanou vodou do sedimentačního válce. Pomocí kuchyňské třerky směs mechanicky roztíráme
7. Směs ve válci doplníme vodou (vodovodní) do rysky 1000 ml (*Valla a spol.,2006*).

Vlastní hustoměrné měření

8. Vzniklou suspenzi důkladně rozmícháme míchadlem v celém objemu (zhruba 1 min)
9. Začátek měření (čas 0) začíná v okamžiku ukončení míchání
10. Opatrně zasuneme hustoměr do suspenze (hustoměr vždy držíme ve svislé poloze mezi dvěma prsty do suspenze ponořujeme pomalu (zhruba 10 s), tak aby se nezvířila suspenze, do takové hloubky, dokud neucítíme mírný protitlak, poté pustíme a necháme ustálit
11. V čase 30 s od začátku sedimentace odečteme z hustoměru první hodnotu suspenze
12. Další odečítání hodnot probíhá v časech 1, 2 a 5 min. V mezičasech se měří i teplota suspenze
13. Po odečtení hodnot z hustoměru, hustoměr vytáhneme, aby nedocházelo k zatěžování hustoměru usazujícími se částicemi, opláchneme destilovanou vodou ze stříčky a položíme na filtrační papír

14. Při každém dalším měření se hustoměr ponořuje a opět je vyjímán. Měření probíhá v časech 1, 2, 5, 15 a 45 minut 2, 5, 24 a 49 hodin. Současně jsou měřeny teploty suspenze (Valla a spol., 2006).

Výsledky jsou zapisovány do tabulky, kde:

T – doba sedimentace (min)

R – hustoměrné čtení (dílký)

t – teplota (°C)

Δt – teplotní korekce hustoty – z osy nomogramu (dílký)

h_r – střední hloubka ponoření hustoměru (cm)

$$hr = \frac{h}{2} - \frac{V}{2F} + (S - R) * \frac{L}{S}$$

d – průměr částic (mm) – z nomogramu

$\Sigma\%$ - kumulativní procento částic, vynášející se v čase T

$$\Sigma \% = \frac{100}{N_s} * \frac{\rho_z}{\rho_z - 1} * (R + \Delta t)$$

N_s – navážka zeminy (g)

ρ_z – specifická hmotnost zeminy ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

Pro konečné vyhodnocení je třeba znát specifickou hmotnost půdy (Valla a spol., 2006).

5.2.2. STANOVENÍ SPECIFICKÉ (MĚRNÉ) HMOTNOSTI PŮDY POMOCÍ VODNÍHO PYKNOMETRU

Princip metody

Specifická hmotnost půdy je hmotnost objemové jednotky pevné složky půdy (to je bez pórů). Zjišťujeme ji porovnáním s měrnou hmotností (hustotou) destilované vody při 20 °C (*Valla a spol.,2006*).

Potřeby a zařízení

- Vodní pyknometr s uzávěrem
- Malá varná porcelánová miska
- Skleněná tyčinka
- Kahan
- Trojnožka
- Azbestová síťka
- Temperovací lázeň
- Nálévka
- Váhy

Postup stanovení

1. Pyknometr je naplněn destilovanou vodou po okraj a je vložen otevřený do temperovací lázně s teplotou 20 °C na dobu 20 min
2. Navážení přibližně 10g vzorku (N_z – zaznamenání přesné navážky vzorku) do malé porcelánové misky, zemina je zalita destilovanou vodou, tak aby byla zemina zcela zakryta
3. Nad kahanem na azbestové síťce za občasného míchání skleněnou tyčinkou přibližně 5 min povařit, pro vypuzení vzduchu ze všech pórů
4. Ponecháno vychladnout
5. Pyknometr je vyjmut z temperovací lázně a je uzavřen uzávěrem osušen a zvážen (P_{H_2O})
6. Po vylití vody je do pyknometru pomocí nálevky umístěna veškerá vychladlá suspenze, která je po okraj doplněna destilovanou vodou. opět otevřený pyknometr je dán do temperovací lázně o teplotě 20°C

7. Pyknometr je po 20 min vyjmut z lázně, uzavřen zátkou, osušen a zvážen (P_z). Vážení probíhá s přesností na setiny gramů. Temperuje se vždy otevřený pyknometr a váží se uzavřený a osušený. Specifická hmotnost zeminy se pohybuje obvykle kolem $2,2 - 2,8 \text{ g.cm}^{-3}$ (Valla a spol.,2006).

Výpočet

$$\rho_z = \frac{N_z * \rho_v}{N_z + P_{H_2O} - P_z}$$

ρ_z – specifická hmotnost zeminy (g.cm^{-3})

ρ_v – hustota vody při $20 \text{ }^\circ\text{C} = 1 \text{ g.cm}^{-3}$

N_z – navážka zeminy - 10g

P_{H_2O} – hmotnost pyknometru s vodou (g)

P_z – hmotnost pyknometru se suspenzí (g) (Valla a spol.,2006).

5.2.3. ZTRÁTA ŽÍHÁNÍM

Princip metody

Ztráta žíháním je metoda procentuálního stanovení podílu humusových látek minerálních horizontů na hmotnosti jemnozeme daného půdního horizontu. Je to nejrychlejší a nejjednodušší metoda k získání obsahu humusových látek v daném minerálním horizontu na daném stanovišti.

Metoda spočívá v procesu žíhání. Během vyžíhání dojde ke ztrátě:

- Intramicelární vody, které jsou jímány do mezivrstevních prostor jílových minerálů
- Vodnatých silikátů, krystalické vody hydroxidů, sulfátů apod.
- Veškeré zcela nerozložené organické hmoty a vody, částečně humifikované i humifikované adsorpčně vázané do struktury látek koloidního humusu
- Určitého podílu karbonátů

Vyžíháním se zjišťuje větší úbytek půdní hmoty, než je procentuální podíl pouze humusových látek. Použitá metoda zachovává počáteční teplotu roztopnosti kalcitu (550 °C). Uhlíčan vápenatý se začíná rozkládat na oxid uhličitý a oxid vápenatý už při teplotě 500 °C, oxid uhličitý uniká v podobě plynu, což vede ke poklesu hmotnosti žíhaného vzorku. Navržená metodika vychází ze stanovení ztráty žíháním z vysušeného vzorku do konstantní hmotnosti.

Potřeby a zařízení

- Hliníková vysoušečka
- Tyglík
- Muflovací pec
- Kovové kleště
- Váhy

(ČSN 72 1110 (1959))

Postup stanovení

1. Vzorek jemnozemě je nasypán do hliníkové vysoušečky, který se vysuší do konstantní hmotnosti, během vysoušení je zvážen prázdný očíslovaný porcelánový tyglík
2. Po vysušení je vzorek nasypán přibližně do jedné čtvrtiny výšky tyglíku
3. Vzorek s tyglíkem je opět přesně zvážen
4. Vzorek v tyglíku je vložen do muflovací pece s nastavenou teplotou 50°C
5. V případě vzorků s vysokým obsahem humifikované hmoty se používají tyglíky malých velikostí a teplota v peci se postupně zvyšuje
6. Poté, co je v peci dosažena teplota 550 °C , vzorek je ponechán v peci po dobu 30 minut
7. Po vyžhání je vzorek vyjmut z prostoru muflovací pece pomocí kovových kleští a je okamžitě vložen do dobře těsnícího exsikátoru
8. Po zchladnutí se vzorek s tyglíkem opět zváží

Výpočet

$$y = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (\%)$$

m₁ – hmotnost vysušeného vzorku do konstantí hmotnosti

m₂ – hmotnost vzorku po vyžhání

Vyhodnocení

Humus (%)	Půdní horizont
Méně než 1	Velmi slabě humózní
1-2	Slabě humózní
2-5	Humózní
5-20	Silně humózní
Více než 20	Velmi silně humózní

(ČSN 72 1110 (1959))

5.2.4. STANOVENÍ AGREGÁTOVÉ STABILITY (WSA)

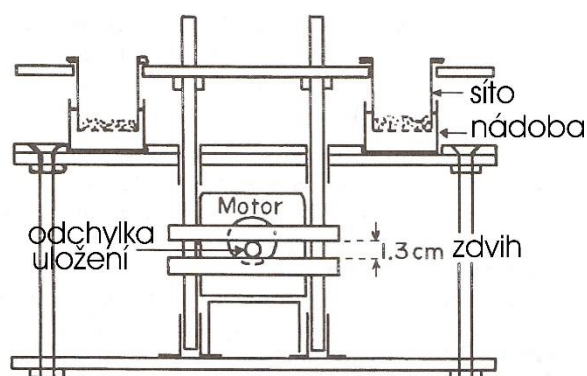
Za účel této metody je popis reálné analytické metody, která slouží k popisu fyzikálních vlastností půdy v souvislosti rozkladu agregátových půdních struktur při řízeném procesu namáčení. Výsledkem metody je index, díky kterému lze poměrně dobře klasifikovat stabilitu půdní struktury, jejich náchylnost k vodní erozi, k povrchovému odnosu půdy. Další využití indexu je při retenčních a infiltračních vlastnostech půdy. Tato metodika se zakládá na principu konstrukce dispergačního přístroje s modifikací gravimetrického stanovení dle publikace *Bartoli et.al, 1991 (VÚMOP, 2011)*.

Daná metoda lze aplikovat na velké spektrum půdních vzorků. Nezávisí na druhu, mocnosti či původu jednotlivých půd. Její využití je především při hodnocení kvality svrchních horizontů zemědělských půd, či možné určení kvality půdní struktury libovolného půdního horizontu při různém využití půdy. Velikost zkoumaných půdních makroagregátů je 1-2 mm. Pro stanovení nestrukturních půd, jejichž částice netvoří milimetrové půdní agregáty tato metoda nelze použít (*VÚMOP, 2011*).

WSA (water stable aggregate) – index (bezrozměrný), který vyjadřuje hmotnostní poměr půdních makroagregátů ve vodě stabilních k celkové hmotnosti agregátů ve vzorku. Kde agregát se bere jako strukturní částice půdy, stála za daných podmínek, která obsahuje menší částice hmoty (*VÚMOP, 2011*).

Potřeby a zařízení

- Analytické váhy s minimální přesností 0,1 g +/- 0,005 g
- Aparatura (dle Kemper et Rossenau (1986) - Obrázek 16
 - Nerezová nádoba o průměru 75 mm a výšce 40mm
 - Očíslovaná síta o průměru 50 mm a výšce 65 mm a průměru ok 0,25mm
 - Zdvih 1,3 cm o frekvenci zdvihu 35x za minutu po dobu 3 minuty (+/-5s)
- Destilovaná voda
- Hydroxid sodný (NaOH – čistý)
- Hexametafosforečnan sodný ((NaPO₃)₆ - čistý)
- Pec (sušičku) pro udržení konstantní teploty 105 °C +/- 5 °C
- Zásobní lahev 2 l (VÚMOP, 2011)



Obrázek 16 Aparatura dle Kemper et Rossenau (1986)

Postup stanovení:

Odběr půdních vzorků

Odběr půdního vzorku z daného horizontu přibližně 1 kg, který je umístěn do uzavíratelné plastové nádoby z důvodu zachování vlhkostních podmínek. Pro zemědělské půdy je třeba odebrat vzorky ve vlhkostním rozmezí mezi bodem vadnutí a maximální vodní kapacitou. Je snaha o minimální poškození půdní struktury a o co nejrychlejší přepravu do laboratoře (VÚMOP, 2011).

Příprava půdních vzorků

Vzorky sušeny při laboratorní teplotě 3-5 dní v dobře větrané temperované místnosti. Po vysušení je zemina prosívána na sítích o velikostech ok 2 mm a 1 mm (s těmito frakcemi se dále pracuje), zbylá zemina je zvážena, pro gravimetrické stanovení % obsahu frakcí větších jak 2 mm a menších jak 1 mm (VÚMOP, 2011).

Stanovení WSA

- 1) Navážení 4 g na vzduchu vysušených 1-2 mm velkých agregátů do sítí o velikosti ok 0,25 mm
- 2) Zalití vzorku destilovanou vodou - ovlhčení vzorku
- 3) Očíslované a zvážené nerez nádoby jsou naplněny destilovanou vodou tak, aby půda v sítkách byla pokryta vodou, když zdvih bude v nejspodnější poloze
- 4) Umístění nádobek do přístroje
- 5) Umístění očíslované sítky s agregáty do držáků nad shodně očíslované nerezové nádoby
- 6) Spuštění motoru a zvedání a snižování sítí o 1,3 cm po dobu 3 minut o frekvenci 35 x za min
- 7) Vyzvednutí sítí z vody a umístění nádob na táč
- 8) Nahrazení nádobek očíslovanými nádobkami se 100 ml disperzního činidla (2g/l Na(OH) pro půdy s pH nižším jak 7, nebo 3 mM hexamethafosfátu sodného (2g/l) – pro půdy s vyšším pH než 7)
- 9) Pokračování v prosévání na sítích, dokud nebude na sítích pouze písek (pokud agregáty zůstávají na sítích po 5 min – zastavení prosévání a rozdrcení agregátů tyčinkou)
- 10) Vysušení obou setů nádobek v peci při teplotě 105 °C do konstatní hmotnosti
- 11) Určení váhy materiálu v každé nádobce na vahách, pro nádoby s disperzním činidlem je třeba odečíst 0,2g (váha disperzního činidla) od celkové váhy
- 12) Stabilní frakce odpovídá hmotnosti půdy, kterou obsahuje nádobka s disperzním roztokem podělená sumou hmotností v obou nádobkách (výpočet WSA_i)
- 13) Stanovení se provádí pro každý vzorek 3x (VÚMOP, 2011)

Výpočet WSA

Výpočet indexu WSA ve vodě stabilních půdních agregátů zkoumané frakce 1-2 mm při použití dispergačního činidla lze vypočítat dle Rovnice 6:

$$WSA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n WSA_i$$

WSA – statistický průměr z WSA_i

WSA_i - jednotlivá dílčí měření

Výpočet dílčích měření WSA lze vypočítat dle Rovnice 7 :

$$WSA_i = M_{si} / (M_{si} + M_{ni})$$

M_{si} – hmotnost ve vodě stabilní fáze pro dané měření;

M_{ni} - hmotnost ve vodě nestabilní fáze pro dané měření

Výpočet celkového množství skeletu, částic větších jak 0,25 mm lze vypočítat za pomoci Rovnice 8 :

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_{ci} - M_{si} + M_{ni}) * 100$$

R – celkový obsah “skeletu“ = obsah částic > 0.25 mm [%] ;

M_{ci} = 4g (hmotnost vzorku)

(VÚMOP, 2011)

6. VÝSLEDKY

Získaná data byla vyhodnocena za pomoci tabulek a výpočtů, které jsou uvedeny v metodice v kapitole **5.1 VÝPOČET K-FAKTORU**.

6.1. ZJIŠTĚNÍ K-FAKTORU DLE HLAVNÍ PŮDNÍ JEDNOTKY Z BPEJ

K-faktor byl zjištěn za pomoci Tabulky 5 získané z publikace (*Janeček, 2012*). Z daných hlavních půdních jednotek byl určen K-faktor, který lze vidět v Tabulce 7.

Sonda	BPEJ(GIS) staré	HPJ z BPEJ	K dle BPEJ
36	83421	34	0,26
37	83434	34	0,26
91	72614	26	0,41
95	52601	26	0,41
97	45111	51	0,26
117	43014	30	0,23
125	54610	46	0,47
122	42213	22	0,24
26	10700	07	0,26
28	20501	05	0,28

Tabulka 7 Zjištění K-faktoru dle HPJ

6.2. ZJIŠTĚNÍ K-FAKTORU DLE PŮDNÍHO TYPU A SUBTYPU

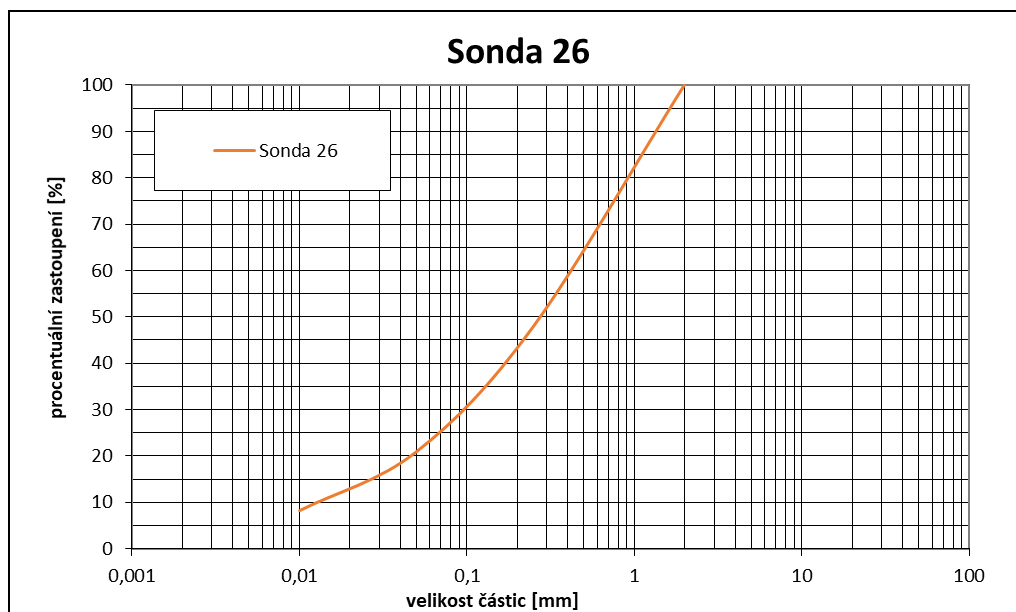
K-faktor byl zjištěn za pomoci tabulky (Tabulka 6) získané z publikace (Janeček, 2012), kde z daných hlavních půdních jednotek byl určen K-faktor. Hodnoty K-faktoru je možné najít v Tabulce 8.

Sonda	Půdní typ (TKSP, 2001)	Subtyp 1 (TKSP,2001)	K dle typu a subtypu půdy
36	kambizem	modální	0,33
37	kambizem	psefiticka	0,30
91	ranker	modální	0,26
95	kambizem	rankerova	0,30
97	luvizem	oglejená	0,56
117	hnědozem	modální	0,53
125	pseudoglej	luvický	0,54
122	kambizem	psefitická	0,30
26	černozem	modální	0,40
28	regozem	modální	0,22

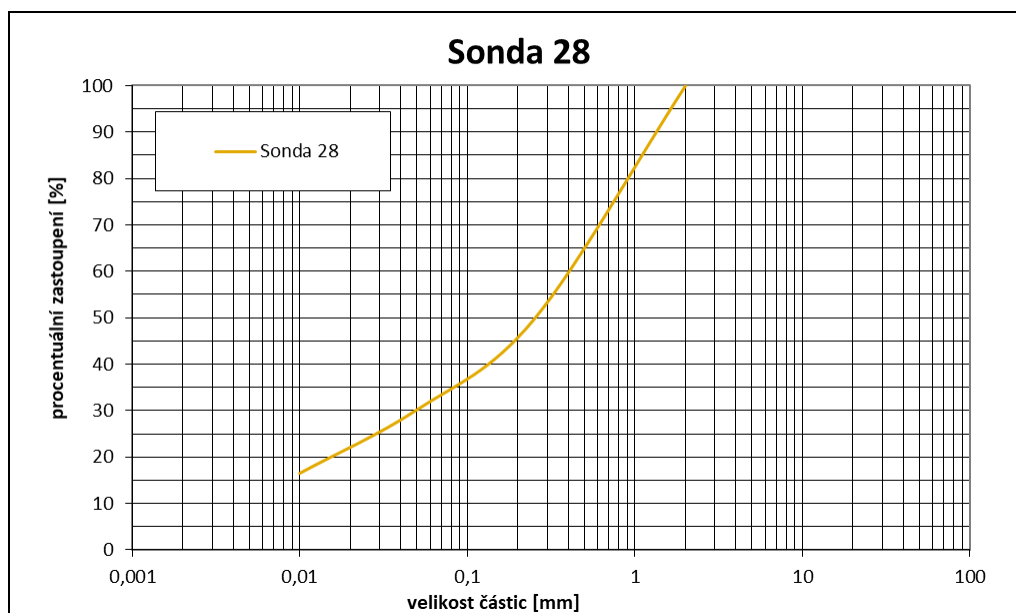
Tabulka 8 Zjištění K-faktoru z půdního typu a subtypu

6.3. ZJIŠTĚNÍ K-FAKTORU DLE NOMOGRAMU

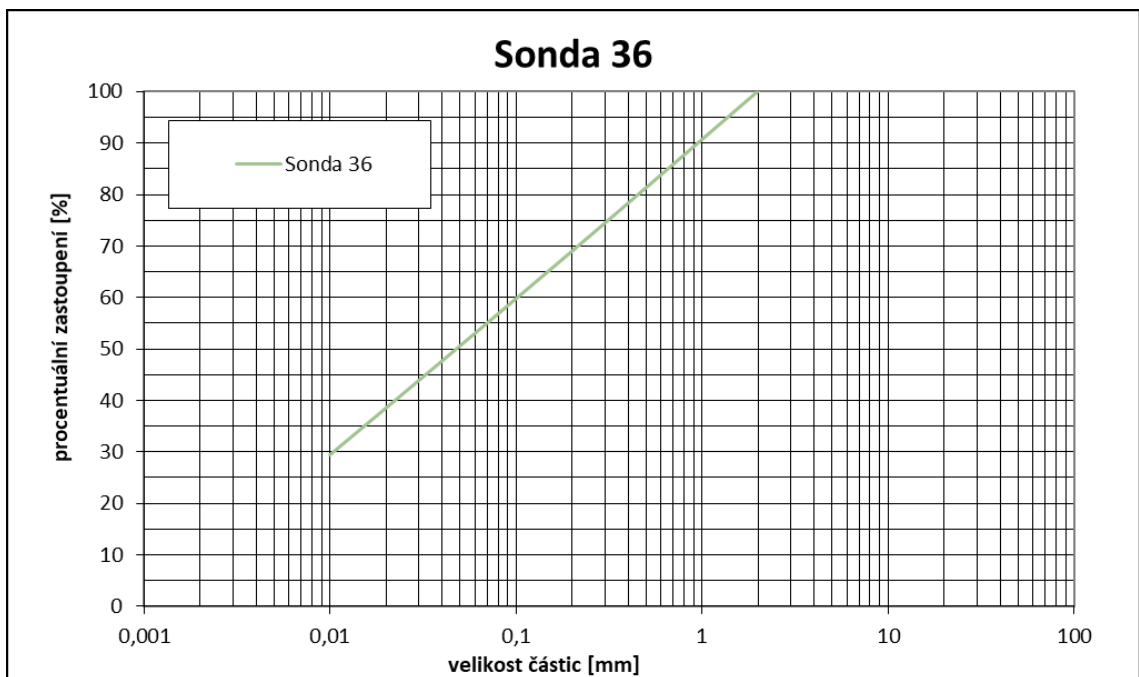
Zjištění K-faktoru dle nomogramu probíhalo za pomoci naměřených procentuálních hodnot. Bylo zapotřebí procentuálních hodnot částic o velikosti 0,002 – 0,1 mm, částic o velikosti 0,1 – 2 mm a procentuální zastoupení humusu. Pro zastoupení procentuálních hodnot částic o velikosti 0,002-0,1 mm a 0,1 – 2 mm, bylo zapotřebí vynesení zrnitostních křivek, pro každou sondu zvlášť. Zrnitostní křivky jsou možné nalézt na Obrázcích 17 až 26.



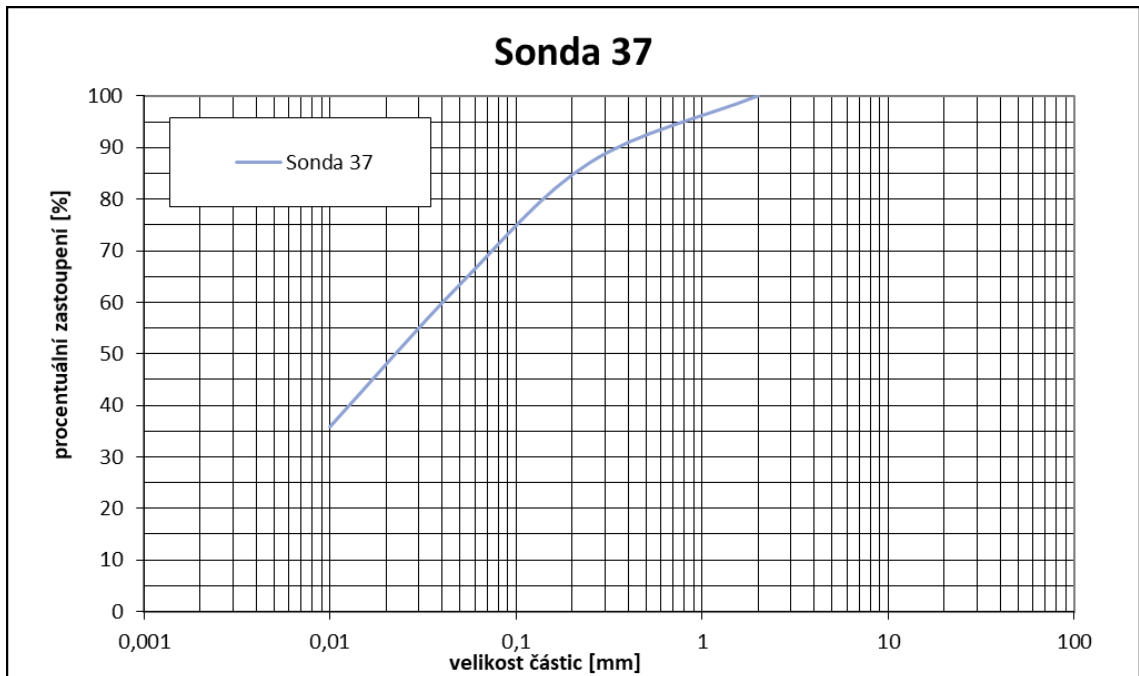
Obrázek 17 Zrnitostní křivka pro sondu č. 26



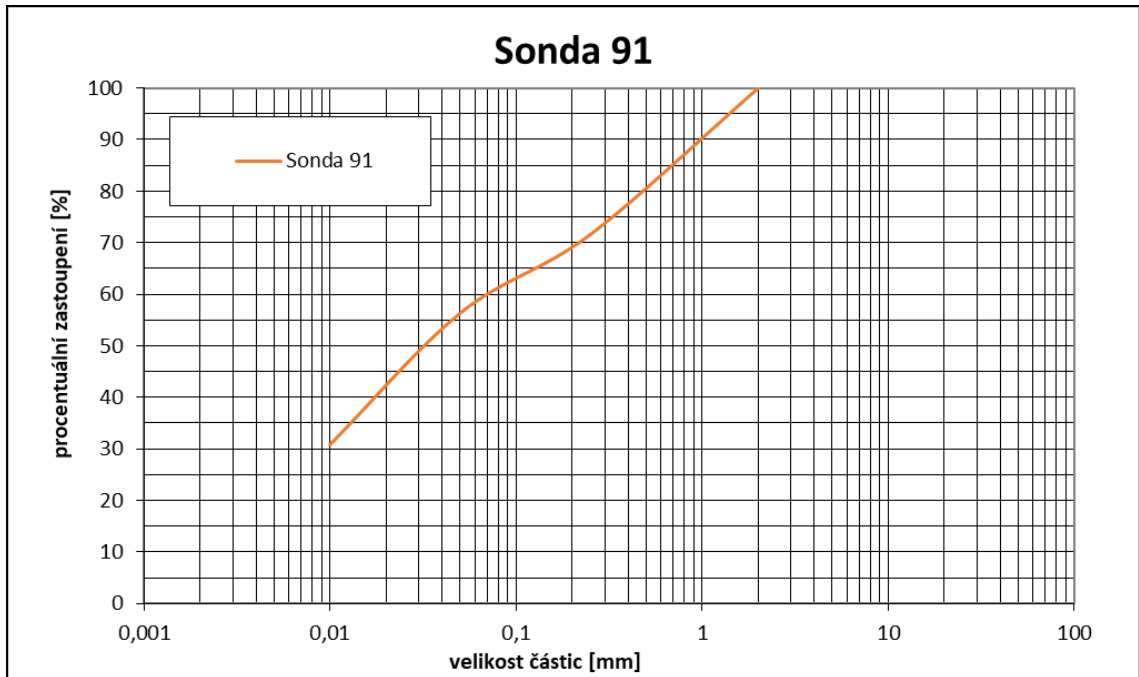
Obrázek 18 Zrnitostní křivka pro sondu č. 27



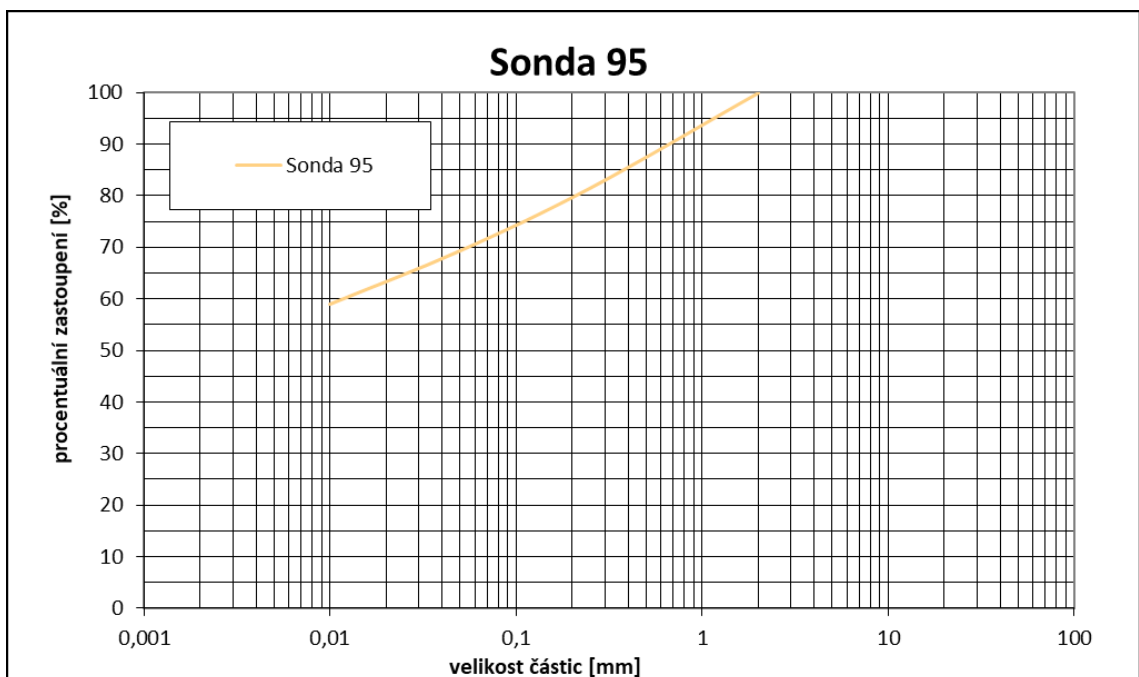
Obrázek 19 Zrnitostní křivka pro sondu č. 36



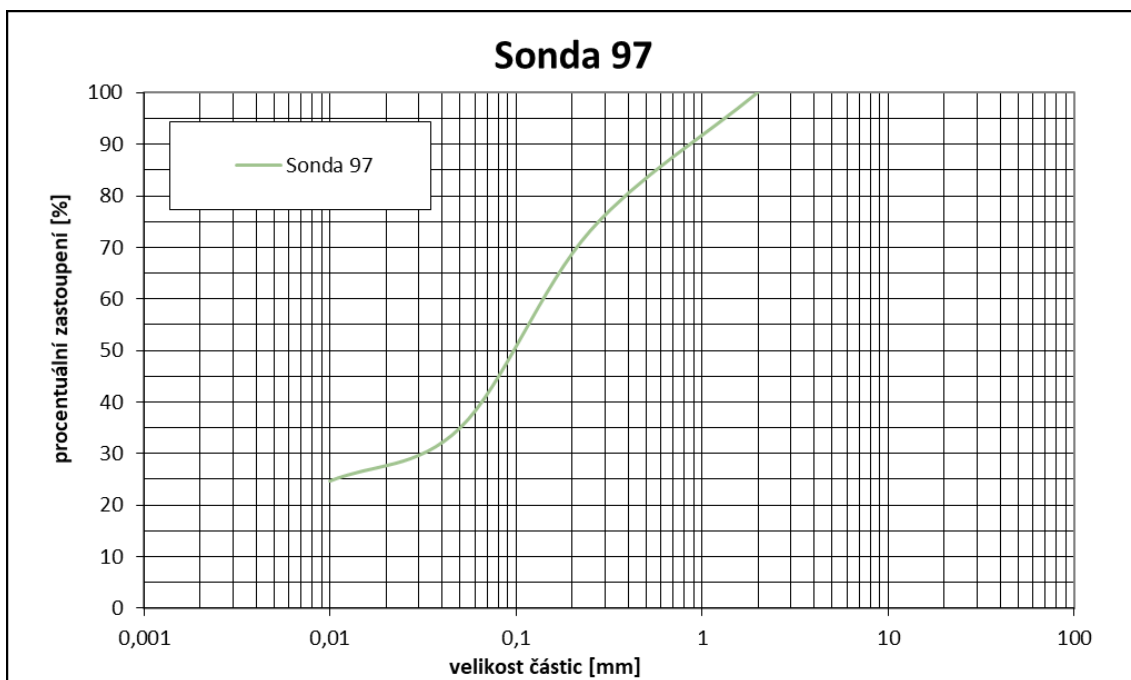
Obrázek 20 Zrnitostní křivka pro sondu č. 37



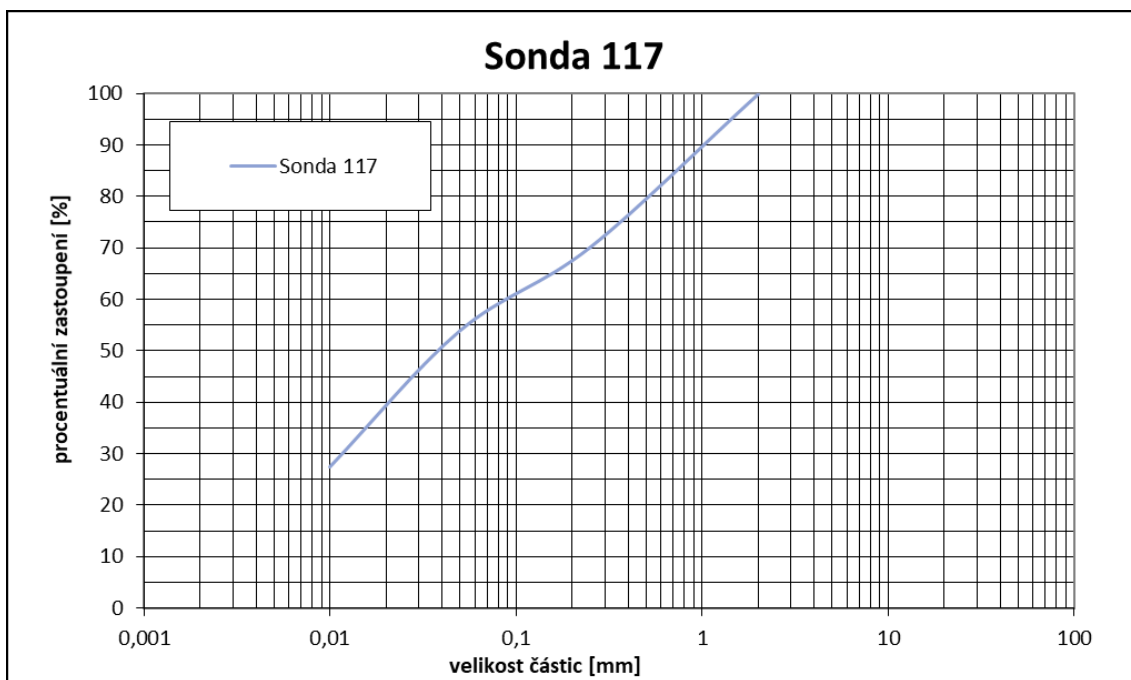
Obrázek 21 Zrnitostní křivka pro sondu č. 91



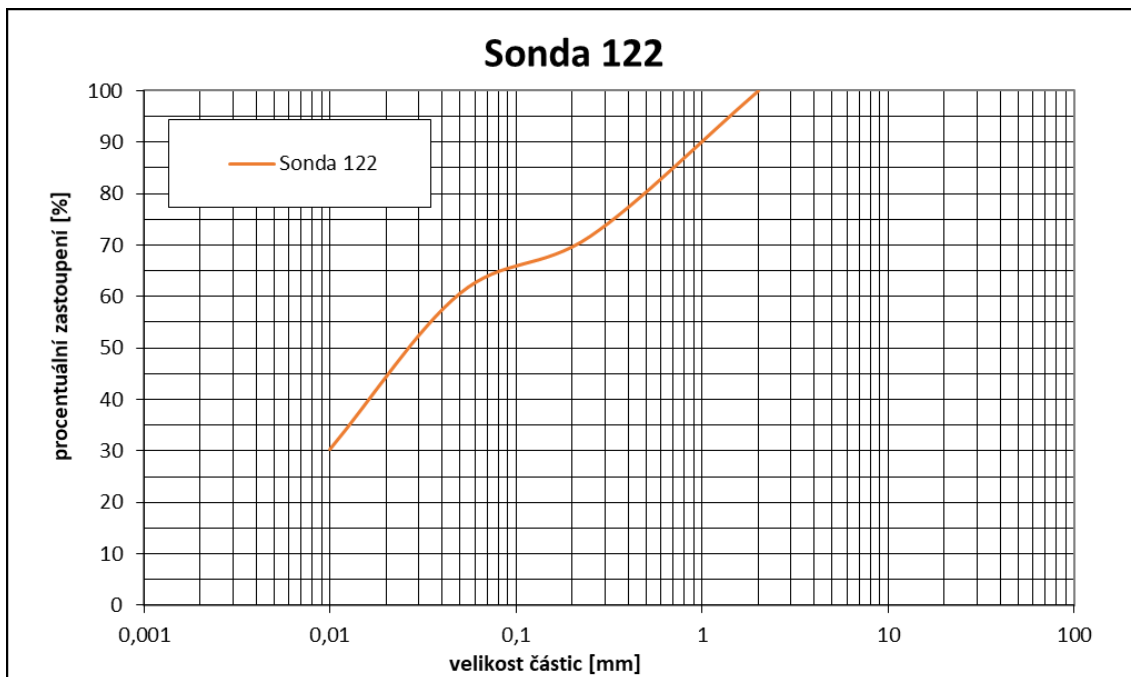
Obrázek 22 Zrnitostní křivka pro sondu č. 95



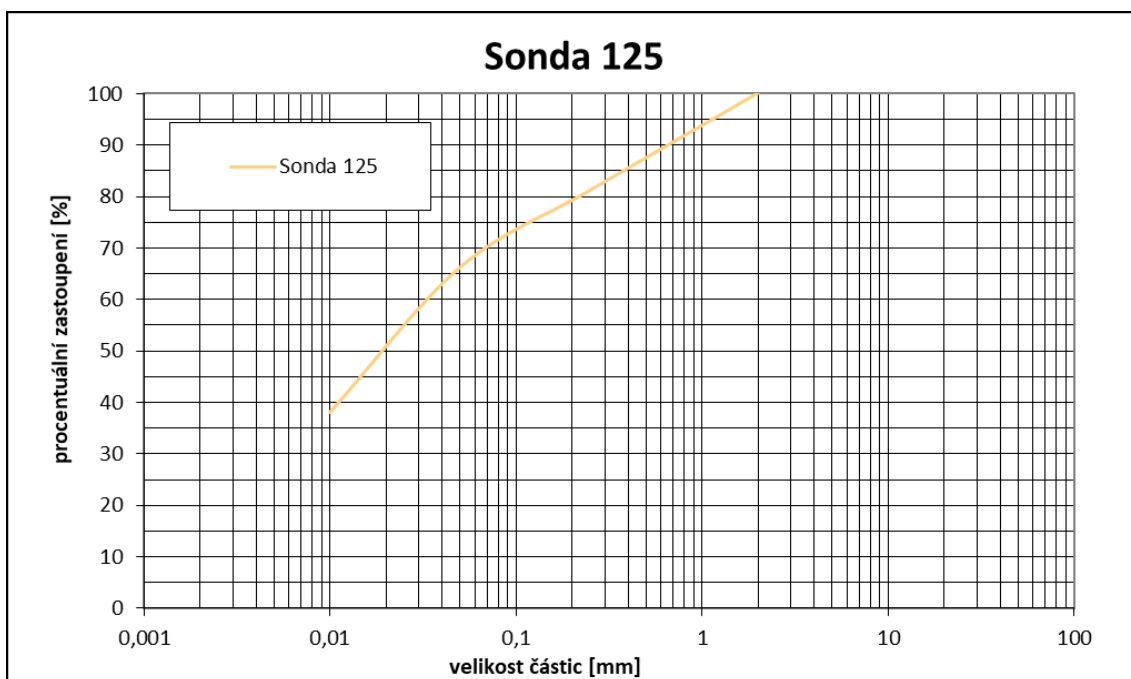
Obrázek 23 Zrnitostní křivka pro sondu č. 97



Obrázek 24 Zrnitostní křivka pro sondu č. 117



Obrázek 25 Zrnitostní křivka pro sondu č. 122



Obrázek 26 Zrnitostní křivka pro sondu č. 125

Zastoupení humusu bylo získáno z koncentrace oxidovaného uhlíku přenásobeného koeficientem 1,724 (Dufková, 2005). Struktura byla vztahována k BPEJ za pomoci hydrologických skupin půd dle Tabulky 9.

skupina	Ksat/mikrom/s	označí	struktura půdy
A	> 40	vysoká	1
B	10 - 40	střední	2
C	1 - 10	nižší střední	3
D	< 1	nízká	4

Tabulka 9 Zjištění struktury půdy z HSP - USDA, 2009 (Vopravil, 2018)

Dále bylo třeba znát třídu propustnosti půdy, která byla určena za pomoci výsledku metody WSA, kde intervalu (0 – 0,39) byla přiřazena třída propustnosti 1, intervalu (0,4 – 0,59) byla přiřazena třída propustnosti 2, intervalu (0,6 – 0,79) byla přiřazena třída propustnosti 3 a intervalu (0,8 – 1) byla přiřazena třída propustnosti 4. Hodnoty K-faktoru získané z nomogramu lze vidět v Tabulce 10.

SONDA	částice o velikosti 0,002-0,1 mm [%]	částice o velikosti 0,1-2 mm [%]	humus [%]	struktura půdy	propustnost	Prvý odhad hodnoty K "přibližné K"	K faktor výpočet z nomogramu
26	21	79	3	2	4	0,11	0,17
28	30,2	69,8	4	1	3	0,15	0,14
36	50,6	49,4	2	2	2	0,34	0,32
37	63,5	36,5	3	2	2	0,35	0,31
91	56,3	43,7	2	2	1	0,33	0,27
95	69,3	30,7	2	2	4	0,49	0,51
97	35	65	1	3	4	0,23	0,15
117	54	46	3	2	1	0,3	0,23
122	60,6	39,4	2	4	2	0,43	0,45
125	66,2	33,8	1	2	3	0,5	0,47

Tabulka 10 Zjištění K-faktoru z nomogramu

6.4. VÝPOČET K-FAKTORU DLE VZORCE HYDROLOGICKÝCH SKUPIN PŮD

Pro zjištění faktoru erodovatelnosti půdy byla použita Rovnice 3. Vstupní data byla získána z naměřených dat a jsou k vidění v Tabulce 11. K výpočtu bylo třeba procentuálního zastoupení částic o velikosti 0,002-0,1 mm a procentuální zastoupení částic o velikosti menší jak 0,002 mm. Bylo nutné sestavit zrnitostní křivky pro vyčtení frakce 0,002 - 0,1 mm. Opět bylo zapotřebí procentuální zastoupení organické hmoty, která byla získána z koncentrace oxidovaného uhlíku přenásobeného koeficientem 1,724 (Dufková, 2005). Třída struktury ornice byla zjištěna za pomoci BPEJ. Dále bylo nutné znát třídu propustnosti půdy, která byla určena za pomoci výsledku metody WSA. Intervalu (0 – 0,39) byla přiřazena třída propustnosti 1, intervalu (0,4 – 0,59) byla přiřazena třída propustnosti 2, intervalu (0,6 – 0,79) byla přiřazena třída propustnosti 3 a intervalu (0,8 – 1) byla přiřazena třída propustnosti 4.

$$100K = 2,75M^{1,14} * 10^{-4} * (12 - a) + 3,25 * (b - 2) + 2,5 * (c - 3)$$

SONDA	<0,002	<0,01	0,01-0,05	0,05-0,25	0,25-2	0,1	C _{ox}	BPEJ - struktura ornice	WSA
26	5,30	8,3	21	48	100	30	1,470	2	0,91
28	6,40	16,5	30,2	49,7	100	37	2,110	1	0,76
36	13,9	29,4	50,6	72	100,1	60	1,28	2	0,58
37	15,1	35,9	63,5	87,1	100	75	1,46	2	0,41
91	22,60	30,7	56,3	71,6	100,1	63	0,980	2	0,26
95	36,3	58,9	69,3	81,5	100	74,5	1,29	2	0,85
97	19,8	24,7	35	73,2	100,1	51	0,69	3	0,80
117	11,2	28	54	70,2	100	61	1,84	2	0,33
122	9	30	60,6	71,7	100	66	1,18	4	0,49
125	20	38	66,2	81,2	100	74	0,86	2	0,65

Tabulka 11 Vstupní hodnoty pro výpočet K-faktoru

V Tabulce 12 jsou zobrazeny jednotlivé vstupní parametry. Kde parametr **M** je vypočten jako součin (% částic o velikosti 0,002 - 0,1 mm) krát (100 minus % částic < 0,002 mm). Parametr **a** je procentuální zastoupení organické hmoty. Parametr **b** je třída struktury ornice a parametr **c** je třída propustnosti půdního profilu.

SONDA	M	a	b	c	K faktor výpočet dle hydro skupin
26	2841,0	3	2	4	0,25
28	3463,2	4	1	3	0,22
36	5166,0	2	2	2	0,44
37	6367,5	3	2	2	0,54
91	4876,2	2	2	1	0,40
95	4745,7	2	2	4	0,44
97	4090,2	1	3	4	0,45
117	5416,8	3	2	1	0,39
122	6006,0	2	4	2	0,60
125	5920,0	1	2	3	0,58

Tabulka 12 Výpočet K-faktoru dle Rovnice 3

6.5. VÝPOČET K-FAKTORU VYCHÁZEJÍCÍ Z RUSLE POSTUPEM EL-SWAIFY AND DANGLER (1976) PRO TROPICKÉ PŮDY

Pro zjištění K-faktoru za pomoci odvozené rovnice RUSLE byla použita Rovnice 5, kde byla vstupní data získána z naměřených dat. Percentuální zastoupení nestabilních agregátů menších jak 0,25 mm bylo získáno za pomoci parametru WSA ($X1 = (1 - WSA) * 100$). Parametr X2 byl získán z naměřených dat, frakce < 0,002 mm. Parametr X3 je opět získán z parametru WSA, kde intervalu (0 – 0,39) byla přiřazena propustnost 20%, intervalu (0,4 – 0,59) byla přiřazena propustnost 40%, intervalu (0,6 – 0,79) byla přiřazena propustnost 60% a intervalu (0,8 – 1) byla přiřazena propustnost 80%. Parametr X4 je percentuální zastoupení jílnatých částic o velikosti 0,002 – 0,05 mm, který byl získán z naměřených dat. Parametr X5 (percentuální zastoupení písčité částice o velikosti 0,1 – 2 mm) byl též získán z naměřených dat a následného vyčtení ze zrnitostní křivky, jako v minulém řešení.

$$K = -0,03970 + 0,00311 * X1 + 0,00043 * X2 + 0,00185 * X3 + 0,00258 * X4 - 0,00823 * X5$$

Výsledné řešení K-faktoru lze vidět v Tabulce 13.

SONDA	X1	X2	X3	X4	X5	K
26	9,3	5,3	20	21	70	0,697
28	24,1	6,4	40	30,2	63	0,746
36	41,9	13,9	60	50,6	40	0,698
37	59,4	15,1	60	63,5	25	0,662
91	73,5	22,6	80	56,3	37	0,820
95	15,0	36,3	20	69,3	25,5	0,460
97	20,0	19,8	20	35	49	0,588
117	67,3	11,2	80	54	39	0,816
122	50,7	9	60	60,6	34	0,704
125	35,0	20	40	66,2	26	0,562

Tabulka 13 Výsledné řešení K-faktoru vycházející z rovnice RUSLE pro tropické půdy

7. DISKUZE

Pro zjištění hodnot K-faktoru je běžnou praxí využívání databáze. Výhodou používání databáze jsou nižší náklady a především rychlost zjištění K-faktoru v závislosti na čísle hlavní půdní jednotky z kódu BPEJ.

Pokud jsou kladeny vyšší nároky na přesnost výsledků, je nutno K-faktor vypočítat za pomoci terénních měření. Tyto metody jsou zatíženy vyššími nároky na pracnost a náklady.

Jak je dále uvedeno, rozdíl mezi hodnotou zjištěnou z databáze pomocí HPJ a naměřenými hodnotami je poměrně zanedbatelný.

Všechny vypočtené K-faktory, dle jednotlivých metod řešení, lze vidět v Tabulce 14. Výsledků mohou být zatíženy chybou, kterou zapříčiňují následující faktory:

- Nedostatečné množství zkoumaných dat
- Nepřesné vyčítání z nomogramu
- Nesprávně určené hodnoty tříd struktury
- Nesprávně určené hodnoty tříd propustnosti apod.

Sonda	K dle BPEJ	K dle typu a subtypu půdy	K faktor výpočet z nomogramu	K faktor výpočet dle hydro skupin	K faktor RUSLE Afrika
36	0,26	0,33	0,17	0,25	0,70
37	0,26	0,30	0,14	0,22	0,75
91	0,41	0,26	0,32	0,44	0,70
95	0,41	0,30	0,31	0,54	0,66
97	0,26	0,56	0,27	0,40	0,82
117	0,23	0,53	0,51	0,44	0,46
125	0,47	0,54	0,15	0,45	0,59
122	0,24	0,30	0,23	0,39	0,82
26	0,26	0,40	0,45	0,60	0,70
28	0,28	0,22	0,47	0,58	0,56

Tabulka 14 Tabulka výsledků všech výpočtů K-faktoru

Pro získání odchylek u jednotlivých sond a metod byl vypočten aritmetický průměr z výsledků K-faktoru pro jednotlivé metody. V Tabulce 15 lze vidět jednotlivé odchylky a výsledné sumy odchylek. Z Tabulky 15 vyplývá, že nejpřesnější metodou je výpočet K-faktoru dle BPEJ.

Druhou nejpřesnější metodou vyšla metoda za pomoci hydro skupin, kde bylo využito z velké části naměřených hodnot.

Zjištění K-faktoru za pomoci rovnice RUSLE pro tropické půdy, je pro naše účely nevyhovující. Hodnoty K-faktoru vyšly výrazně vyšší než u ostatních půd. Tento výsledek není překvapivý, protože na našem území se nevyskytují tropické půdy.

Druhou nejméně přesnou metodou byla shledána metoda zjištění K-faktoru z nomogramu, do které vstupovala spousta ovlivňujících faktorů. Nepřesnost čtení z nomogramu, či nepřesné určení tříd propustnosti a tříd struktury půdy. Díky těmto ovlivňujícím faktorům jsem přesvědčena o tom, že tato metoda dle hodnot uvedených v Tabulce 15 se jeví jako velmi nepřesná.

Sonda	K dle BPEJ	K dle typu a subtypu půdy	K faktor výpočet dle hydro skupin	K faktor výpočet z nomogramu
36	0,048	0,044	0,180	0,132
37	0,048	0,074	0,213	0,162
91	0,102	0,114	0,006	0,018
95	0,102	0,074	0,111	0,008
97	0,048	0,186	0,026	0,032
117	0,078	0,156	0,012	0,208
125	0,162	0,166	0,017	0,152
122	0,068	0,074	0,042	0,072
26	0,048	0,026	0,167	0,148
28	0,028	0,154	0,148	0,168
Σ	0,0732	0,1068	0,0921	0,1100

Tabulka 15 Zobrazení absolutních hodnot odchylek od aritmetického průměru dané metody

V tabulce jsou červeně znázorněny nejnížší a nejvyšší odchylky od aritmetického průměru dané metody. Nebyla nalezena žádná shoda nejnížších či nejvyšších hodnot.

8. ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce byl výpočet faktoru erodovatelnosti půdy dle různých způsobů řešení. K-faktor byl zjišťován za pomoci HPJ, půdního typu a subtypu, nomogramu, výpočtu K-faktoru dle hydro skupin, či výpočtu z odvozené rovnice RUSLE pro tropické půdy. K-faktor byl stanovován za pomoci dat z terénu odebíraných v deseti různých lokalitách. Odběry probíhaly v okresech Praha – Západ, Pelhřimov, Plzeň – Sever a Plzeň – Jih.

Bylo zjištěno, že nejpřesnější výsledek vychází pro K-faktor získaný za pomoci hlavní půdní jednotky z kódu BPEJ. Tímto byl také potvrzen předpoklad, který byl uveden v úvodu této diplomové práce. Na základě požadavků investorů na snižování nákladů je z pohledu přesnosti a časové náročnosti plně dostačující metoda zjištění K-faktoru za pomoci HPJ z BPEJ.

Při srovnávání mnou prezentovaných hodnot K-faktoru a průměrného K-faktoru pro ČR, získaného z průzkumu prováděného panem doktorem *Panagos a kol.*, jsou mnou vypočtené hodnoty K-faktoru výrazně vyšší. Pan doktor *Panagos* ve svém článku (*Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS, 2014*) udává průměrnou hodnotu K-faktoru pro ČR $0.0373 \text{ t} \cdot \text{h} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ a standardní odchylku $0,0076 \text{ t} \cdot \text{h} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$. Při srovnání se naše výsledky celkově liší řádově o jedno desetinné místo. Domnívám se, že na základě získaných znalostí se nemohu se závěry pana doktora *Panagos* ztotožnit. Dle jeho vědeckých výstupů celá Česká republika v podstatě netrpí vodní erozí. Ovšem dle *eAGRI, 2019* se v České republice se nachází více než 34 % půd ohrožených, silně ohrožených a kriticky ohrožených vodní erozí.

Věřím, že při používání hodnot K-faktoru za pomoci HPJ z BPEJ, bude spousta projektů na ochranu proti vodní erozi probíhat rychleji, s nižšími náklady.

8. POUŽITÁ LITERATURA

BARTOLI, F., BURTIN, G. AND HERBILLON, A., 1991a: *Disaggregation and clay dispersion of Oxisols: Na-resin, a recommended methodology. Geoderma, 49: 301-317.*

CULEK M., DIVÍŠEK J., GRULICH V. a LAŠTŮVKA Z., 2013: *Biogeografické regiony České republiky. Masarykova univerzita, Brno, ISBN: 978-80-210-6693-9.*

ČSN 72 1110 (1959) *Základní postup rozboru silikátů. Ústav pro normalizaci, Praha*

DERPSCH R., 1991: *Understanding the process of soil erosion and water infiltration.*

Online: <http://www.rolf-derpsch.com/en/erosion/>

Citováno: 5.4.2017

DUFKOVÁ J., TOMAN F., ŠŤASTNÁ M. (2005): *Comparison of methods for determination of soil erodibility factor K. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2005, LIII, No. 5, pp. 197–206*

eAGRI, 2019: *Půda, Vodní eroze půdy; © 2009-2019 Ministerstvo zemědělství*

Online:

<http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/vodni-eroze-pudy/>

Citováno: 2.4.2019

EROZE: *Vodní eroze*

Online: <http://eroze.sweb.cz/home.htm>

Citováno: 28.2.2017

FLANAGAN D. C., GILLEY J. E. ET FRANTI T. G., 2007: *Water Erosion Prediction Project (WEPP): Development History, Model Capabilities, and Future Enhancements.*

Online: <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=10621>

Citováno: 1. 3. 2017

HOLÝ M., 1994: *Eroze a životní prostředí. ČVUT, Praha, 383s, ISBN 80-01-01078-3.*

CHMELOVÁ R. ET ŠARAPATKA B., 2002: *Soil erosion by water: Contemporary research methods and their use. Geographica 37: 23 – 30.*

JANDÁK, J., 1989: Cvičení z půdoznalství. 1. vyd. Brno: VŠZ v Brně, 213 s

JANEČEK M. [ED.], 2005: *Ochrana zemědělské půdy před erozí, ISV nakladatelství Praha, 195 s, ISBN: 85866-85-8 (2. vydání).*

JANEČEK M. [ED.], 2008: *Základy erodologie. Katedra biotechnických úprav krajiny, Fakulta životního prostředí ČZU, Praha, 172 s, ISBN 978-80-213-11842-7.*

JANEČEK M. [ED.], 2012: *Ochrana zemědělské půdy před erozí – Metodika. ČZU v Praze, Praha, 113 s, ISBN 978-80-87415-42-9.*

KEMPER, W.D. AND ROSENAU, R.C., 1986: *Aggregate stability and size distribution. In: A. Krute. (Editor), Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph, No. 9 (2nd edition), American Society of Agronomy-Soil Sci. Soc. Am., Madison, pp.*

KLÍMOVÁ M., 2011: *Testování erozního modelu WEPP. Diplomová práce, ČVUT Praha.*

MZe ČR, 1995.: *Protierozní ochrana. Nové technologie v ochraně půdy před vodní erozí: Voda v krajině. Ministerstvo zemědělství ČR. Praha, 1995. 52 s.*

PANAGOS P. MEUSBURGER K., BALLABIO C., BORRELLI P., ALEWELL CH., 2014: *Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS, Science of The Total Environment, Volumes 479–480, 1 May 2014, Pages 189-200*

S.D. ANGIMA, D.E. STOTT, M.K. O'NEILL, C.K. ONG, G.A. WEESIES., 2003: *Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions, Agriculture, Ecosystems and Environment 97 (2003) str. 295-308*

Online: <https://naldc.nal.usda.gov/download/17677/PDF>

Citováno: 28.10.2018

SCHIMDT, J., 1994: *Entwicklung und Anwendung eines physikalisch begründeten Simulationsmodells für die Erosion geeigneter landwirtschaftlicher Nutzflächen. Habilitationsschrift. Freie Universität Berlin*

SKLENIČKA P., 2003: *Základy krajinného pánování. Nakladatelství Naděžda Skleničková, Praha, 321 s, ISBN 80-903206-1-9.*

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

USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE), 2011: WEPP Model Documentation.

Online: <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=18073>

Citováno: 2. 3. 2017

VALLA M. A SPOL., 2006: *Pedologické praktikum. Katedra pedologie a geologie, FAPPZ ČZU, Praha, 151 s + 4 přílohy, 2. vydání, 1. dotisk, ISBN 80-213-0914-8*

VAŠINOVÁ K., 2012: *Autoreferát disertační práce, České Budějovice*

VOPRAVIL J. A KOL., 2010: *Půda a její hodnocení v ČR, Díl I., Výzkumný ústav meliorací a půdy, v.v.i., Praha 2010 - 2. vydání, 148 s, ISBN: 978-80-87361-05-4*

VOPRAVIL J. A KOL., 2011: *Půda a její hodnocení v ČR, Díl II., Výzkumný ústav meliorací a půdy, v.v.i., Praha 2011 - 1. vydání, 156 s, ISBN: 978-80-87361-08-5*

VOPRAVIL J., KHEL, T., HEŘMANOVSKÁ, D., HOLUBÍK, O., HUISLOVÁ, 2018: *Mapové vymezení infiltračních schopností a propustnosti zemědělských a nezemědělských půd*

VÚMOP, 2011: *Standartní operační postup (SOP 1/P), Metodika stanovení WSA, VÚMOP, Oddělení pedologie a ochrany půdy, datum vydání 6.4.2011 schválil Ondřej Holubík*

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1978: *Predicting rainfall erosion losses. A guide to*

conservation planning. USDA Agricultural Handbook, 1978, No. 537, 58 s.

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Průběh Eroze (Derpsch, 1991)	13
Obrázek 2 Erozní ohrožení půdy vodní erozí v ČR (Šarapatka, 2014).....	14
Obrázek 3 Situace - umístění odběru vzorků	27
Obrázek 4 Půdní sonda č. 26 a půdní sondírka odběru (Autor: O.Holubík)....	36
Obrázek 5 Půdní sonda č. 28 a půdní sondírka odebraného vzorku (O.H.) ...	37
Obrázek 6 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 36 (O.Holubík) ...	38
Obrázek 7 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 37 (O.Holubík) ...	39
Obrázek 8 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 91 (L. Vlček)	40
Obrázek 9 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 95 (L. Vlček)	41
Obrázek 10 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 97 (L. Vlček)	42
Obrázek 11 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 117 (L. Vlček) ..	43
Obrázek 12 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 122 (L. Vlček) ..	44
Obrázek 13 Půdní sondírka odebraného vzorku ze sondy č. 125 (L. Vlček) ..	45
Obrázek 14 Znázornění klimatických regionů ČR (Vopravil, 2011)	46
Obrázek 15 Nomogram pro určení K-faktoru (Janeček, 2008)	50
Obrázek 16 Aparatura dle Kemper et Rossenau (1986)	61
Obrázek 17 Zrnitostní křivka pro sondu č. 26.....	66
Obrázek 18 Zrnitostní křivka pro sondu č. 27.....	66
Obrázek 19 Zrnitostní křivka pro sondu č. 36.....	67
Obrázek 20 Zrnitostní křivka pro sondu č. 37.....	67
Obrázek 21 Zrnitostní křivka pro sondu č. 91.....	68
Obrázek 22 Zrnitostní křivka pro sondu č. 95.....	68
Obrázek 23 Zrnitostní křivka pro sondu č. 97.....	69
Obrázek 24 Zrnitostní křivka pro sondu č. 117.....	69
Obrázek 25 Zrnitostní křivka pro sondu č. 122.....	70
Obrázek 26 Zrnitostní křivka pro sondu č. 125.....	70

10. SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1 Rovnice USLE.....	17
Rovnice 2 Rovnice MUSLE	20
Rovnice 3 Výpočet K-faktoru	49
Rovnice 4 Vyjádření K-faktoru z rovnice USLE	50
Rovnice 5 Vyjádření K-faktoru z RUSLE	51
Rovnice 6 Výpočet indexu WSA	63
Rovnice 7 Výpočet dílčích měření WSA.....	63
Rovnice 8 Výpočet celkového množství skeletu.....	63

11. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Hodnoty P faktoru pro jednotlivá protierozní opatření	19
Tabulka 2 Polohopis odběru vzorků ze sond	26
Tabulka 3 Zastoupení půdních typů a subtypů.....	28
Tabulka 4 Charakteristiky klimatických regionů (Vopravil, 2011).....	46
Tabulka 5 Hodnoty K-faktoru dle HPJ z BPEJ (Janeček, 2012).....	48
Tabulka 6 Hodnoty faktoru K pro půdní typy a subtypy (Janeček, 2012).....	49
Tabulka 7 Zjištění K-faktoru dle HPJ.....	64
Tabulka 8 Zjištění K-faktoru z půdního typu a subtypu.....	65
Tabulka 9 Zjištění struktury půdy z HSP - USDA, 2009 (Vopravil, 2018).....	71
Tabulka 10 Zjištění K-faktoru z nomogramu	71
Tabulka 11 Vstupní hodnoty pro výpočet K-faktoru.....	72
Tabulka 12 Výpočet K-faktoru dle Rovnice 3	73
Tabulka 13 Výsledné řešení K-faktoru z rovnice RUSLE pro tropické půdy ...	74
Tabulka 14 Tabulka výsledků všech výpočtů K-faktoru.....	75
Tabulka 15 Zobrazení abs. hodnot odchylek od arit. průměru dané metody ..	76