

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Hodnocení erozního smyvu z pohledu úbytku organické
hmoty v půdě**

Vedoucí práce: Ing. Jan Vopravil, Ph.D.

Vypracoval: Bc. Tomáš Hora

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tomáš Hora

Voda v krajině

Název práce

Hodnocení erozního smyvu z pohledu úbytku organické hmoty v půdě

Název anglicky

Evaluation of soil sediment out of soil organic content

Cíle práce

Podrobná literární rešerše na téma důvodů úbytku organické hmoty v půdě vlivem vodní eroze.

Metodika

Bude provedena podrobná kompilace literatury pro oblast organické hmoty v půdě, vodní erozi a důvodech úbytku a zastoupení organické hmoty v erozním sedimentu.

Doporučený rozsah práce

40

Klíčová slova

vodní eroze, půdní organická hmota, sedimentace

Doporučené zdroje informací

- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, – JANEČEK, M. Ochrana zemědělské půdy před erozí : metodika. Praha: Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.
- Ing. Marcela Synáčková CSc., 1996: Čistota vody. České vysoké učení technické, Praha, 98 s.
- Janeček M., Květoň V., Kubátová E., Kobzová D. (2013): Values of rainfall erosivity factor for the Czech republic. *Journal of Hydrology and Hydromechanic*, 61: 97–102.
- Krásá J. (2004): Evaluation of Erosion Processes in Large River Basins with the Support of GIS. [Ph.D. Thesis.] Prague, Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering. (in Czech)
- Lou H., Yang S., Zhao Ch., Wang Z. a kol., 2016: Using a nitrogen-phosphorus ratio to identify phosphorus risk factors and their spatial heterogeneity in an intensive agricultural area. *Catena* 149 (2017): 426-436
- Panagos P., Ballabio C., Borrelli P., Meusburger K., Klik A., Rousseva S., Perčec Tadić M., Michaelides S., Hrabalíková M., Olsen P., Aalto J., Lakatos M., Rymaszewicz A., Dumitrescu A., Begueria S., Alewell C. (2015): Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*, 511: 801–814
- Van Der Knijff J.M., Jones R.J.A., Montanarella L. (2000): Soil Erosion Risk Assessment in Europe. Ispra, European Soil Bureau.
- VOPRAVIL, J. *Půda a její hodnocení v ČR. Díl II./ Jan Vopravil a kol.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2011. ISBN 978-80-87361-08-5.
- VOPRAVIL, J. *Půda a její hodnocení v ČR. Díl. I.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2010. ISBN 978-80-87361-05-4.
-

Předběžný termín obhajoby

2019/20 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 12. 01. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Hodnocení erozního smyvu z pohledu úbytku organické hmoty v půdě“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Vopravila, Ph.D. a použil jen pramenů, které jsem řádně citoval a uvedl v seznamu použité literatury.

Zároveň prohlašuji, že tištěná verze je shodná s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval svému školiteli Ing. Janu Vopravilovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a cenné rady při zpracování této práce. Také bych rád poděkoval své rodině a přátelům za velkou podporu nejen při psaní této práce, ale také během celého studia.

Abstrakt

Diplomová práce je orientována na problematiku zabývající se hodnocením úbytku organické hmoty v důsledku vodní eroze. Práce je rozdělena na část literární rešerše, kde je podrobně popsána problematika úbytku organické hmoty, a na část hodnocení vlivu vlastností půdy na úbytek organické hmoty. Pomocí polního simulátoru deště byly provedeny dvě simulace, které poskytly data ke zpracování analýzy závislosti úbytku organické hmoty na vlastnostech půdy. Výsledná korelační analýza poukazuje na vyšší či nižší lineární závislost mezi proměnnými. Závěrem jsou výsledné hodnoty interpretovány a je zhodnocena jejich významnost pro budoucí měření.

Klíčová slova: eroze, půdní organická hmota, dehumifikace, polní simulátor deště, povrchový odtok.

Abstract

The diploma thesis is focused on the issue of evaluating the loss of soil organic matter caused by to water erosion. The thesis is divided into a part of the literature research, which describes in detail the issue of organic matter loss and a part of the evaluation of the influence of soil properties on organic matter loss. Using a field rainfall simulator, two simulations were performed, which provided data for processing the analysis of the dependence of organic matter loss on soil properties. The resulting correlation analysis indicates a higher or lower linear relationship between the variables. Finally, the resulting values are interpreted and their significance is evaluated for future measurements.

Keywords: erosion, soil organic matter, dehumification, field rainfall simulator, surface run-off.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce	2
3	Metodika	3
3.1	Zájmové lokality.....	3
3.2	Polní simulátor deště	4
3.2.1	Umístění simulátoru	4
3.2.2	Režim zadešřování.....	4
3.2.3	Agrotechnická varianta	4
3.2.4	Měření odtoku	4
3.3	Vzorky půdy	5
3.4	Statistická analýza	5
4	Literární rešerše.....	7
4.1	Půda	7
4.1.1	Funkce půdy	7
4.2	Půdní organická hmota.....	7
4.2.1	Složení půdní organické hmoty.....	8
4.2.2	Hlavní procesy v půdní organické hmotě.....	10
4.2.3	Význam půdní organické hmoty	11
4.2.4	Příčiny dehumifikace půdy	11
4.2.5	Důsledky dehumifikace půdy.....	12
4.3	Eroze.....	12
4.4	Druhy eroze	12
4.4.1	Podle intenzity.....	12
4.4.2	Podle působení erozních činitelů	13
4.4.3	Podle formy	15
4.4.4	Podle místa působení	17
4.5	Příčiny eroze	17
4.6	Důsledky eroze	19
4.6.1	Ztráta půdy	19
4.6.2	Transport a sedimentace půdních částic.....	19
4.6.3	Transport chemických látek	20
4.7	Protierozní opatření	20
4.7.1	Organizační protierozní opatření.....	21

4.7.2	Agrotechnická protierozní opatření.....	24
4.7.3	Technická protierozní opatření	26
4.8	Určení ohroženosti pozemku vodní erozí.....	31
4.8.1	Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE).....	31
4.8.2	Metoda CN – křivek.....	38
4.8.3	Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy – RUSLE.....	42
4.8.4	Výpočet transportu splavenin a ztráty půdy.....	42
4.8.5	Poměr odnosu.....	42
4.8.6	Technologické simulátory.....	43
5	Výsledky	44
5.1	Zhodnocení závislosti vlastností půdy na ztrátu organické hmoty.....	44
5.1.1	ZOH v závislosti na počáteční vlhkosti půdy	46
5.1.2	ZOH v závislosti na sklonitosti svahu.....	47
5.1.3	ZOH v závislosti na relativní pórovitosti půdy	48
5.1.4	ZOH v závislosti na zrnitosti půdy (obsah zrn <0,002 mm).....	49
5.1.5	ZOH v závislosti na zrnitosti půdy (obsah zrn <0,01 mm).....	50
5.1.6	ZOH v závislosti na zrnitosti půdy (obsah zrn <0,05 mm).....	51
5.1.7	ZOH v závislosti na zrnitosti půdy (obsah zrn <0,1 mm).....	52
5.1.8	ZOH v závislosti na koncentraci organické hmoty v půdě	53
5.1.9	ZOH v závislosti na výšce povrchového odtoku.....	54
5.1.10	ZOH v závislosti na míře infiltrace	55
5.1.11	ZOH v závislosti na době nástupu povrchového odtoku	56
5.1.12	Vizualizace ztráty organické hmoty na dílčích lokalitách	57
6	Diskuze.....	58
7	Závěr	60
8	Literatura.....	61

1 Úvod

Půdu lze označit jako základní článek potravního řetězce, prostředí pro růst rostlin, zásobárnu vody, stavební materiál a mnoho dalších aktivit důležitých pro člověka a organismy. Proto má půda zcela nenahraditelnou úlohu pro stav životního prostředí a udržitelný život (Sáňka a Materna 2004).

Bohužel současným problémem je zhoršující se stav půdy a pokles půdní úrodnosti (Kovaříček a kol 2017). V ČR je potenciálně ohroženo přes 50 % rozlohy zemědělského půdního fondu vodní erozí (Sáňka a Materna 2004). A právě kvalita půdy rozhoduje o tom, aby voda z deště zůstala v co největší míře v místě srážek (Kovaříček a kol 2017).

Orná půda je utužována těžkou technikou, často jsou využívány nevhodné plodiny, využívá se velkého množství pesticidů a zužují se osevní sledy pěstovaných plodin. Hlavním problémem kvality půdy je velkoplošný způsob hospodaření na orné půdě a to vše zhoršuje kvalitu půdy, život půdního edafonu a náchylnost k vodním i větrným erozím (Kubát a kol 2008). Proto je vhodné vytvoření nástrojů k ochraně a optimálního využívání půdy tak, aby byly zabezpečeny její funkce a zároveň nebudou omezeny zdroje pro život člověka (Sáňka a Materna 2004).

2 Cíl práce

Cílem této práce bylo seznámit se s problematikou úbytku organické hmoty v půdě vlivem vodní eroze. Součástí práce bylo vyhotovení podrobné literární rešerše, metodiky práce a zpracování výsledných dat. Hlavním úkolem bylo najít a určit závislost úbytku organické hmoty, naměřeného polním simulátorem deště, na půdních vlastnostech.

3 Metodika

Při zpracování této diplomové práce byla použita data z měření polním simulátorem deště ve vybraných zájmových lokalitách (kapitola 3.1). Byla zpracována metodika měření polním simulátorem deště, která se omezuje na části relevantní pouze pro účely této práce. Dále je popsána metodika odběru vzorků půdy a nakonec postup při korelační analýze ztráty organické hmoty v závislosti na naměřených vlastnostech půdy.

3.1 Zájmové lokality

Zájmové lokality byly vybrány Výzkumným úřadem meliorací a ochrany půdy pro zakázku „Ověřování půdoochranných technologií s možností zařazení technologie do seznamu půdoochranných technologií využitelných v rámci plnění podmínek standardu DZES 5 a upřesňování hodnot faktoru ochranného vlivu vegetace“.

V souhrnné tabulce zájmových lokalit (Tab. 1) jsou vypsány základní parametry jednotlivých lokalit.

Lokalita	GPS	Nadmořská výška (m)	Sklonitost (%)	Zrnitostní rozbor	HPJ	Hloubka půdy	Průměrný roční úhrn srážek (mm)
Dolní Město	49.6173075N, 15.2653733E	467,49	13	hlinitopísčítá	50	mělká	650 - 750
Jedouchov	49.5795028N, 15.4489581E	603,22	11,3	písčítohlinitá	34	středně hluboká	700 - 800
Jevíčko	49.6560531N, 16.7088942E	381,12	11,3	hlinitá	30	středně hluboká	550 - 650
Petrovice – A	49.5523536N, 14.3295014E	473,25	12,6	hlinitopísčítá	29	středně hluboká	550 - 650
Petrovice – B	49.5684642N, 14.3257247E	453,83	14,5	písčítohlinitá	26	středně hluboká	550 - 650
Petrovice – C	49.5617119N, 14.3204194E	488,37	8,3	hlinitopísčítá	41	mělká	550 - 650
Porešín	49.5379558N, 14.3668522E	548,66	17,2	hlinitopísčítá	32	středně hluboká	650 - 750
Puclice	49.5864069N, 13.0128503E	414,59	9,6	hlinitá	26	středně hluboká	550 - 650
Skoupý – A	49.5798861N, 14.3581947E	509,02	17,9	písčítohlinitá	68	středně hluboká	550 - 650
Skoupý – B	49.5803894N, 14.3593669E	535,94	10,9	písčítohlinitá	68	středně hluboká	550 - 650
Skoupý – C	49.5763589N, 14.3567811E	522,62	8,5	hlinitopísčítá	37	mělká	550 - 650
Solopysky	50.2591408N, 13.7416328E	309,59	14,9	hlinitá	33	středně hluboká	450 - 550
Valečov	49.6388550N, 15.4891042E	449,64	8,3	hlinitopísčítá	29	středně hluboká	650 - 750
Věž – A	49.5644553N, 15.4517247E	551,6	7,2	hlinitopísčítá	34	středně hluboká	700 - 800
Věž – B	49.5751233N, 15.4700092E	509	8,7	písčítohlinitá	32	středně hluboká	650 - 750

Tab. 1: Souhrnná tabulka zájmových lokalit

3.2 Polní simulátor deště

Polní simulátor deště je přístroj umožňující ověřit účinky deště na zkoumané ploše. Voda dopadající na povrch měřené plochy musí mít vlastnosti blízké se co nejvíce vlastnostem přirozeného deště.

3.2.1 Umístění simulátoru

Při hledání vhodného umístění, je třeba dbát na přístupnost pozemku automobilem (či traktorem), který na místo dopraví přípojný vozík se simulátorem. Při pohybu techniky nesmí být porušena měřená plocha. Zadešťovaná plocha (2,5 x 10 m) musí být situována delší stranou směrem kolmo k vrstevnicím. Aby nedošlo k ovlivnění zadešťované plochy větrem, je simulátor opatřen bočními zástěnami.

3.2.2 Režim zadešťování

Byl použit režim zadešťování 30+15 min. V tomto režimu se nejprve zadešťuje 30 minut na přirozeně suchu půdu, následuje 15. minutová technická přestávka a poté je nasycená půda zadešťována dalších 15 minut.

Intenzita zadešťování byla $1,22 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, celkově je tedy za dobu obou zadeštění aplikována srážka o výšce 54,9 mm. Tlak v tryskách byl nastaven na 0,5 bar.

3.2.3 Agrotechnická varianta

Pro účel této diplomové práce byla vybrána agrotechnická opatření černý kypřený úhor. Tato agrotechnická úprava byla provedena mělkým kypřením půdy do hloubky max. 7 cm alespoň 5 dní před simulací srážek. Před simulací byla plocha urovnána hladkým válcem.

3.2.4 Měření odtoku

Povrchový odtok byl sváděn ze zadeštěné plochy sběračem ve tvaru trychtýře, který vodu vedl do potrubí odkud byly odebírány vzorky splavené vody a kalu. Na konci potrubí bylo umístěno zařízení, které měří množství odtoku. Byla také měřena doba nástupu povrchového odtoku.

Z těchto naměřených hodnot se jednoduše dopočítala výška povrchového odtoku a velikost infiltrace. Ze splaveného kalu byla po vysušení určena ztráta půdy z experimentální plochy přepočtena na $t \cdot \text{ha}^{-1}$. Laboratorním rozbohem byla naměřena koncentrace organické hmoty ve splaveném kalu a ta následně přepočtena na celkovou ztrátu organické hmoty $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

3.3 Vzorky půdy

V těsné blízkosti zadešřované plochy se odebraly vzorky půdy a provedl se jejich rozbor v příslušných laboratořích:

- Pro chemickou analýzu:
1x papírový sáček – hmotnost vzorku 200 g, odběr z hloubky 5 až 10 cm, směsný vzorek (3 dílčí podvzorky – horní, střední, spodní část).
Rozsah analýz: C_{ox} , zrnitostní frakce ($<0,002$, $<0,005$, $<0,01$, $<0,1$ mm).
Tento odběr se provedl pouze před prvním zadešřáním.
- Pro fyzikální analýzy:
1x Kopeckého váleček
Rozsah analýz: objemová vlhkost, hmotnostní vlhkost.
Tento odběr se provedl před každou simulací.
- Odběr váženky:
1x označená váženka po 1. simulaci
1x označená váženka po 2. simulaci
Rozsah analýz: hmotnostní vlhkost.
Tento odběr se provedl po každé simulaci přímo ze zadešřované plochy.
Vzorek bylo nutné dát do PE pytlíku a omezit tak ztrátu vlhkosti.

Metodika kapitol 3.2 a 3.3 byla zpracována dle *Závěrečné zprávy o plnění Ověřování půdoochranných technologií s možností zařazení technologie do seznamu půdoochranných technologií využitelných v rámci plnění podmínek standardu DZES 5 a upřesňování hodnot faktorů ochranného vlivu vegetace; Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, 2016.*

3.4 Statistická analýza

Ke zjištění závislosti ztráty organické hmoty na dílčích půdních vlastnostech byla použita korelační analýza. Tato analýza je používána pro zjištění síly závislosti dvou náhodných spojitých proměnných. K určení síly závislosti slouží Personův korelační koeficient R , který určuje kvantifikaci lineárního vztahu dvou proměnných. Korelační koeficient nabývá hodnot od -1 do 1, kdy při hodnotě -1 značí dokonalou nepřímou závislost, při hodnotě 0 závislost neexistuje a při hodnotě 1 značí dokonalou přímou závislost. Koeficient determinace R^2 vyjadřuje podíl jakým je rozptyl proměnné veličiny vysvětlen změnami nezávislé proměnné. Hodnota p určuje hladinu

významnosti zvolené analýzy. Korelační analýzu lze považovat za významnou v případě že hodnota p nepřekročí stanovenou hladinu $p > 0.05$, což značí 5 % významnost analýzy (Pavlík a Dušek 2011).

Korelační analýza byla provedena pomocí softwaru MS Office Excel za pomoci funkce *CORREL*, která vrátí výsledný korelační koeficient.

Pro každou zkoumanou půdní vlastnost byl vypočten korelační koeficient R , koeficient determinace R^2 a hodnota p . Korelační koeficient R a hodnota p jsou v tab. 8 v kapitole 5. Výsledky.

Pro absolutní hodnotu korelačního koeficientu R se dá použít slovní hodnocení síly závislosti dle Evanse (1996):

- 0,00 – 0,19 – velmi slabá
- 0,20 – 0,39 – slabá
- 0,40 – 0,59 – střední
- 0,60 – 0,79 – silná
- 0,80 – 1,00 – velmi silná

Součástí hodnocení korelační analýzy je také grafické znázornění pomocí bodového grafu v programu MS Office Excel. Součástí tohoto grafu je bodové znázornění korelovaných hodnot, spojnice trendu a její rovnice včetně koeficientu determinace.

Hodnocení výsledků bylo provedeno pro každou simulaci zvlášť. První simulací rozumíme zadešřování v délce 30 minut a druhou simulací se rozumíme zadešřování v délce 15 minut. Obě simulace jsou hodnoceny zvlášť pro každou dílčí závislost ztráty organické hmoty na půdních vlastnostech.

4 Literární rešerše

4.1 Půda

Půda je definována jako nezávislé těleso v přírodě s jedinečnou morfologií, je produktem biochemického zvětrávání původního materiálu a jeho tvorba je ovlivňována několika faktory jako je podnebí, organismy, původní materiál, reliéf a čas (Tan 2003).

Půda v mnoha případech zabírá velkou plochu nebo objem, nejmenší reprezentativní jednotka takového tělesa se nazývá pedon (Tan 2003).

4.1.1 Funkce půdy

Půda má důležitou funkci, aby zajistila růst rostlin, tvorbu biomasy, zadržení vody, filtraci vody, reguluje vzájemnou výměnu plynů mezi půdou a atmosférou, zabezpečuje většinu procesů cyklů živin a látek v prostředí a je také místem pro stavbu (Šimek a kol 2015).

Půda má mnoho důležitých funkcí:

- zásobení živinami a zajištění růstu rostlin,
- recyklování odumřelé organické hmoty a živin,
- zásobování vodou a regulování vodního režimu,
- zásobování humusu a uložení uhlíku,
- regulování výměny plynů a čistící a detoxikační schopnosti,
- regulování klimatu,
- prostor pro zemědělskou činnost,
- prostor pro materiální infrastrukturu,
- prostor pro půdní organismy (Šimek a kol 2015)

Narušením některé z funkcí půdy se nazývá degradace. Půda ztratí některé své kvality nebo funkce, které jsou nezbytné, a tím přestává být označována za zdravou půdu (Šimek a kol 2015).

4.2 Půdní organická hmota

Půdní organická hmota může být rostlinného, živočišného nebo mikrobiálního původu, může být relativně čerstvá nebo vysoce rozložitelná a přeměněná (Swift

1996). Podléhá přeměnám jako je mineralizace, humifikace, karbonizace a ulmifikace (proces rašelinění, který probíhá hromaděním a následnou přeměnou organických látek na rašelinu), část přechází v druhotné nové humusové látky tvořící humus. Ten patří k nejkompexnějším a nejstabilnějším organickým složkám půdy. Humusových látek se v půdě nachází podstatně méně než látek minerálních, proto je důležité se podílet na jejich navrácení zpět do půdy (Jeřábková 2019).

Organická hmota příznivě ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy a je základním faktorem půdní úrodnosti a důležitou součástí bohaté a diversifikované půdní bioty, současně ovlivňuje retenční schopnost půdy (Kubát a kol 2008; Badalíková 2019). Míra a účinnost příznivého působení se podstatně liší v závislosti na půdních a klimatických podmínkách, na pěstovaných plodinách a v závislosti na systému zpracování půdy a hnojení. Půdy pak mají větší schopnost vyrovnávat výkyvy počasí a jiných biotických a abiotických faktorů (Kubát a kol 2008). Kvalitní organická hmota má velkou schopnost retence a zároveň je voda v půdě filtrována a čištěna. Má vliv také na vzdušný a tepelný režim půdy a detoxikuje a váže některé škodlivé látky. Na zatravněných půdách dochází k výraznému zvýšení obsahu humusu díky organickým látkám z kořenového systému trav. Zkvalitnění organické hmoty mohou pomoci biopady ve formě kompostů (Jeřábková 2019).

4.2.1 Složení půdní organické hmoty

Půda je složena z minerálních částic (45 %), organické hmoty (5 %), vody (20-30 %) a vzduchu (20-30 %). Podíl organické hmoty závisí na typu půdy, v průměru tvoří 5 % hmotnosti půdy. V chudých písčitéch půdách může organická hmota dosahovat méně než 1 %, v rašelinných půdách až 80 % (Šantrůčková 2014).

Půdní organickou hmotu tvoří:

- **Primární organická hmota**

Primární organickou hmotu tvoří především odumřelé části rostlin, které se v půdě nacházejí, nebo se do půdy zapraví zbytky rostlin. Tato skupina představuje velmi pestrou škálu látek, které přicházejí do půdy. Podléhá rozkladu mikroorganismy, přičemž rychlost rozkladu je ovlivněna půdními podmínkami jako je teplota, vlhkost, pH, provzdušnění a složením jednotlivých komponentů (Černý a kol 2019).

Zdroje primární organické hmoty:

- kořenová sekrece (významný vliv na rozvoj mikroorganismů a živinný režim v rhizosféře)
- odumřelé mikroorganismy a makroedafon (přibližně 1 t sušiny za rok)
- kořenové zbytky a odumřelé části kořenu (jeteloviny a jetelotrávy – okolo 4 t sušiny na ha, okopaniny – okolo 1 t na ha)
- nadzemní posklizňové zbytky a vedlejší produkty (ponechaná sláma – okolo 1 t na ha)
- statková hnojiva jako močůvka, kejda a hnůj
- organická hnojiva jako fugát, digestát a kompost (Kovaříček a kol 2017).

Primární organická hmota slouží jako zdroj živin pro půdní mikroflóru a rostliny. Tím se zvyšuje aktivita, početnost i druhové zastoupení, naopak ubývají patogenní organismy. Mikroorganismy také pomáhají rozkladu organických polutantů a přispívají k detoxikaci půdy (Černý a kol 2019). Primární organická hmota má i další významná pozitiva jako je zlepšování transportu vody v půdě nebo zvýšená schopnost půdy zadržovat vodu ze srážek (Kovaříček a kol 2017).

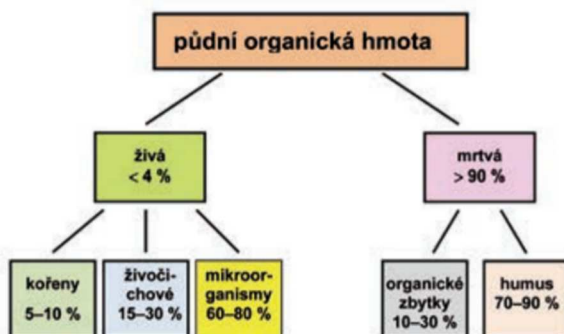
- **Humus**

Humus je komplexní agregát tmavě hnědé až černě zbarvených amorfních látek, které vznikly během rozkladu rostlin a zvířat mikroorganismy za aerobních a anaerobních podmínek, obvykle v půdách, kompostech, rašeliništích nebo v povodí (Walksman 1936). Humus má na úrodnost nižší vliv, jelikož je konečným produktem rozkladu. K úrodnosti půdy však přispívá svým vlivem na půdní strukturu (Sparks 2003).

- **Půdní organizmy**

Z živých organismů jsou v organické hmotě zastoupeny mikroorganismy jako houby, bakterie, viry, archea, sinice, řasy, nižší živočichové a drobní obratlovci (Šantrůčková 2014; Šimek a kol 2015). Půdní živočichové tvoří jen 25 % všech půdních organismů, přesto jsou důležitou součástí půdního ekosystému, zajišťují rozklad a přeměnu veškeré organické hmoty, která vstoupí do půdy (Šantrůčková 2014), zabezpečují nepřetržitý tok látek a energie půdou. Bez

organismů půda přestává být půdou a stává se pouze neživým substrátem (Šimek a kol 2015).



Obr. 1: Rozdělení půdní organické hmoty dle (Šimek a kol 2015)

4.2.2 Hlavní procesy v půdní organické hmotě

Rostliny nejsou schopny samy získat živiny obsažené v primární organické hmotě. Zpracování těchto živin do přípustné podoby napomáhají chemické procesy a mikroorganismy. Mezi hlavní procesy přeměny patří:

- **Mineralizace**

Mineralizace je rozklad složitého organického materiálu přes řadu meziproductů až na jednoduché minerální složky jako H_2O , CO_2 , NH_3 aj., které jsou již rostliny schopny přijmou ve formě živin. Nejvíce se na tomto procesu podílejí půdní bakterie v aerobním prostředí s vhodnými vlhkostními a teplotními podmínkami (Pavlu 2018). Mineralizace trvá různě dlouho dobu, od týdnů až po několik tisíc let (Šarapatka a kol 2010).

- **Humifikace**

Humifikace je zásadním procesem při pedogenezi. Dochází k ní při časovém střídání aerobních a anaerobních podmínek. Proces humifikace zahrnuje rozkladné i syntetické pochody. Proces humifikace je zpravidla dlouhodobější než proces mineralizace. Rozkladu podléhají snáze škroby, bílkoviny či celulóza. Humifikací vznikají organické sloučeniny než byla původní vstupní hmota (Pavlu 2018). Vznikají především fluviokyseliny, huminové kyseliny a huminy (Kolář a kol 2009).

- **Ulmifikace**

Při procesu ulmifikace (rašelinění) dochází k nekompletní biodegradaci – je zpracována pouze část organického materiálu (bílkoviny, celulóza) (Pavlů 2018).

- **Karbonizace**

Při karbonizaci (uhelnatění) vzniká humusové uhlí, které má ve své struktuře větší množství uhlíku a méně kyslíku, dusíku a vodíku než materiál, ze kterého vzniklo (Pavlů 2018).

4.2.3 Význam půdní organické hmoty

Půdní organická hmota ovlivňuje několik vlastností půdy:

- **fyzické vlastnosti:** mění se barva půdy, struktura půdy, snižuje se výpar a zvyšuje se kapacita zadržování vlhkosti a provzdušňování
- **chemické vlastnosti:** zvyšuje zásobu dusíku, fosforu a síry. Ovlivňuje rozpustnost určitých půdních materiálů (např. železo, které přispívá k růstu rostlin),
- **biologické vlastnosti:** slouží jako zdroj energie pro rozvoj mikroorganismů, zvyšuje kvalitu prostředí pro růst vyšších rostlin, dodává pomalý ale nepřetržitý proud živin (Walksman 1936).

4.2.4 Příčiny dehumifikace půdy

Ztráta organické hmoty je v zemědělství velkým problémem. Na českých polích je vidět nedostatečný přísun organických hnojiv jako je hnůj, kejda nebo kompost a také pokles hospodářských zvířat po roce 1989. Další významná překážka je eroze (větrná i vodní), která patří k druhým nejvýraznějším ohrožením pro půdy v ČR (Jeřábková 2019).

Mezi další příčiny patří:

- eroze půdy
- technologie zhutňování půdy
- povodně nebo extrémní sucho
- velkoplošné zemědělství
- nedostatečný přídavek organických hnojiv a posklizňových zbytků
- zvýšená mineralizace (Kovaříček a kol 2017; Jeřábková 2019).

4.2.5 Důsledky dehumifikace půdy

- Zhoršení stability půdní struktury
- snížení biodiverzity
- snížení retenční a infiltrační schopnosti půdy
- vodní a větrná eroze
- nedostatek vláhy v období sucha
- zvýšení obsahu dusičnanů
- snížená produkční schopnost
- zhoršená odolnost půdy vůči extrémním výkyvům počasí (Kovaříček a kol 2017; Jeřábková 2019).

4.3 Eroze

Eroze je přírodní proces, při kterém dochází k postupnému ubývání půdy z půdního profilu působením přírodních činitelů (Janeček a kol 2005). Tito přírodní činitelé způsobují rozkládání, sedimentaci či transport půdních částic. (Dufková 2007). Degradace půdy je dlouhodobý proces, který má za následek pokles produktivity půdy a snížení kvality prostředí (Lal 2001). Tato skutečnost postihuje nejvíce zemědělskou činnost. Při periodickém opakování eroze na daném území dochází k úbytku organické hmoty a živin, které nelze nahradit půdotvorným procesem. Eroze dále způsobuje snížení půdní vlhkosti, kvůli čemuž dochází k vysychání půdy. Tato ztráta vhodných půdních podmínek má za příčinu snížení úrodnosti půdy a zvýšení nákladů na hnojiva (Holý 1994).

4.4 Druhy eroze

Eroze se může dělit podle intenzity, formy, místa působení a zároveň podle činitelů, kteří zapříčiňují vznik a průběh erozních procesů.

4.4.1 Podle intenzity

Intenzita eroze se vyjadřuje odnosem půdy v hmotnostních nebo objemových jednotkách z jednotky plochy za jednotku času (Holý 1994). Podle intenzity se eroze dělí na erozi normální (přírozená, geologická) a na erozi zrychlenou (nadměrná) (Dufková 2007).

- **Normální eroze**

Přírozeným proces v krajině, patří sem eroze koryt vodních toků, hornin. Při tomto typu eroze nedochází k narušení přírodní rovnováhy (Dufková 2007). Rychlost přírozené eroze je srovnatelná s rychlostí půdotvorných procesů (Favis-Mortlock a Mulan 2005). Úbytek živin a půdních částic je přírozeně doplňován z půdního podkladu (Lacková 2015).

- **Zrychlená eroze**

Příčinou této eroze je lidská činnost, zejména změna přírodního ekosystému na zemědělskou půdu (Floor 2000). Při tomto typu eroze již dochází k narušení přírodní rovnováhy, a to zejména transportem půdních částic a živin. Denudace svrchní části půdního profilu má za následek rozsáhlé škody na zemědělských pozemcích ale i na okolní krajině. Důsledkem odnosu půdních částic je jejich následná sedimentace ve vodních tocích, kde často dochází ke znečištění chemickými látkami používanými v zemědělství (Holý 1994; Lacková 2015).

4.4.2 Podle působení erozních činitelů

Podle působení erozních činitelů je možno erozi půdy členit do následujících skupin:

- **Větrná eroze (eolická)**

Při větrné erozi dochází k narušování půdy mechanickou energií větru. Uvolněné částice jsou dále transportovány větrem či gravitačními silami a sedimentovány při jejich poklesu (Holý 1994). Sušší oblasti jsou na výskyt větrné eroze náchylnější než oblasti s vyšší vlhkostí. Větrná eroze se dále dělí dle vzdálenosti, kterou unášené částice urazí, na erozi saltací (malé vzdálenosti) a na prašné bouře, kde se půdní částice volně vznášejí ve vzduchu a vítr je transportuje na veliké vzdálenosti (Janeček a kol 2008).

- **Vodní eroze (fluviální, akvatická)**

Voda je nejvýznamnější erozní činitel. Vzniká mechanickou energií dešťových kapek a následně vzniklému povrchovému odtoku (Floor 2000). Půda postižená vodní erozí je rozrušována a dochází zde k morfologickým změnám, mění se také částicové složení půdy (Lacková 2015). Mimo dešťovou vodu přispívá ke vzniku vodní eroze také tající sněh. Voda z tajícího sněhu uvolňuje a odnáší půdní částice (Janeček a kol 2007).

Celková výměra zemědělského půdního fondu ČR k 31.12.2017 je cca 4 mil ha. Zemědělská půda představuje 53,3% celkové rozlohy půdního fondu ČR. Podíl ohroženosti zemědělské půdy v ČR je 54 % (MZe 2018). Vodní eroze se dále dělí dle formy a způsobu odtoku (Dufková 2007).

- **Sněhová eroze (nivální)**

Sněhová eroze vzniká především v horských a podhorských oblastech. Vzniká pohybem sněhu ve formě lavin kde působením velikého tlaku a rychlosti devastuje zasažený pás území (Holý 1994). Tento druh eroze se může také projevit pomalým sesuvem sněhu po nezmrzlém povrchu na počátku jara (Novák 2014).

- **Ledovcová eroze**

Ledovce modelují reliéf ve vysokohorských oblastech, avšak v dřívějších dobách pokrývaly rozsáhlé oblasti severní a střední Evropy a Severní Ameriky, kde jejich erozní a akumulární činnost zanechala stopy dodnes (Horník 1986). Tento typ eroze se tedy vyskytuje pouze ve vysokohorských oblastech (Alpy, Kavkaz, Skalisté hory aj.) a v ČR se momentálně nevyskytuje. V období čtvrtohorního zalednění vznikly v Krkonoších důsledkem ledovcové eroze morénové sedimenty (Holý 1978). Pohybem ledovce směrem do údolí dochází k erodování skalního podloží, které vyhlazuje a obrušuje (Holý 1994).

- **Zemní eroze**

Zemní erozí označujeme činnost suťových proudů, které jsou tvořeny vodou prosyceným suťovým materiálem. Tyto suťové proudy při svém pohybu do údolí, rozrušují půdu a způsobují hluboké rýhy. Tento druh eroze nejvíce postihuje údolní polohy, technické stavby a komunikace (Holý 1994).

- **Antropogenní eroze**

Člověk značně ovlivňuje téměř všechny druhy erozí půdy. Tyto zásahy do přírody se dají rozdělit na přímé a nepřímé. Do přímých zásahů se dají začlenit činnosti, kterými člověk přímo mění okolní krajinu (těžba, odlesnění, urbanizace, technické stavby aj.) (Holý 1994). Do nepřímých

zásahů se řadí například devastace vegetačního krytu půdy, chov hospodářských zvířat (spásání, ušlapávání) (Dufková 2007). Nepřímou erozi také zhoršuje také výměna vegetačního krytu jiným s nízkým ochranným účinkem. Jeho soustavnou kultivací se také horší chemické a fyzikální vlastnosti půdy (Holý 1994).

Výše zmíněné druhy erozí můžeme v přírodě zaznamenat jednotlivě, ale také v kombinaci. Nejrozšířenějším druhem eroze je vodní a větrná, které jsou značně ovlivňovány a stupňovány důsledky antropogenní eroze (Holý 1994).

4.4.3 Podle formy

Erozi můžeme dělit také podle útvarů – forem, které při ní vznikají. Vodní erozi dělíme na erozi povrchovou a podpovrchovou (Zachar 1970; Holý 1978; Dufková 2007).

- **Eroze povrchová**

- Plošná eroze (Cablík a Jůva 1963; Zachar 1970; Holý 1978; Janeček a kol 2008)

Hlavním znakem plošné eroze je, že půda je rozrušována smyvem půdní hmoty na celém pozemku či svahu. Má za následek změny v půdní textuře a obsahu živin (Lacková 2015). Prvním stupněm plošné eroze je eroze kapková, při které vznikají drobné jamky v půdě (Zachar 1970). Dalším stupněm je eroze selektivní, při níž odnáší povrchový odtok jemné půdní částice. (Janeček a kol 2008). Tato eroze probíhá zvolna a nepozorovaně a půdy jí zasažené se stávají hrubozrnnějšími a mají snížený obsah živin (Holý 1978). Hromaděním plošného odtoku vzniká stružková a vrstvená eroze, které se liší jen svými proporcemi, přičemž stružková eroze nabývá menších rozměrů. (Zachar 1970). Vrstvená eroze vzniká působením velké kinetické energie plošně odtékající vody a dochází při ní ke smyvů půdní hmoty ve vrstvách. Může probíhat na celé ploše svahu či v několika metrových pruzích o hloubce až 25 cm (Lacková 2015). Nejvíce působí plošná eroze při intenzivních deštích dopadajících na suchou půdu, kde půda nestíhá vstřebávat vodu a dochází jejímu hromadění při povrchovém odtoku, který odnáší část ornice (Cablík a Jůva 1963). I když je tato eroze často nenápadná, lze ji prokázat průzkumem materiálu ve svrchních a

spodních částech svahu a dále nestejným vývojem vegetace. Ve spodních částech svahu je vegetace často vzrostlejší a kvalitnější díky akumulaci živin ze smyvu svahu (MZe 2011). Zachar (1970) uvádí ve své klasifikaci plošné eroze dle intenzity odnoží nad 1,5 mm/rok jako silnou erozi a nad 20 mm/rok ji označuje jako katastrofální.

- Výmolová eroze (Cablík a Jůva 1963; Holý 1978; Janeček a kol 2008)
Výmolová eroze vzniká jako důsledek hromadění povrchového odtoku, který svým postupným působením vytváří na půdním povrchu mělké zářezy, které se postupem času prohlubují. Za první stupeň této eroze považujeme erozi rýžkovou, která se vyznačuje hustou sítí drobných úzkých zářezů na povrchu půdy (Holý 1994). Dalším stupněm je eroze brázdová, kde jsou zářezy v půdě širší a jejich hustota ve svahu je nižší (Holý 1978). K výmolové erozi dochází při spojování menších zářezů a následnému prohlubování ve formě výmolů (Cablík a Jůva 1963). Nejnebezpečnějším stádiem této eroze je eroze stržová, kde je šířka a hloubka výmolů (strží) větší než 1 m a dosahuje délky více než 1 km (MZe 2011).
- Proudová eroze (Holý 1994)
Tento druh eroze se vyskytuje ve vodních tocích, kde vzniká působením vodního proudu toku. Dále se dělí na erozi dnovou, kde dochází k erozi dle podélné osy toku a působí zejména na dno, a na erozi břehovou, která působí kolmo na podélnou osu a ohrožuje břehy koryta toku (Holý 1994).

- **Eroze podpovrchová**

- Vnitropůdní eroze
Při této erozi dochází k mechanickému vyplavování jemných půdních částic vlivem gravitační vody, důsledkem toho je skeletizace půdy (Zachar 1970).
- Tunelová eroze
Tato eroze vzniká při vymílání chodeb (tunelů) podpovrchovým odtokem nad nepropustným podložím. Dochází tak ke snižování stability nadložních vrstev, které může mít za následek hluboké výmoly a propady v povrchové vrstvě. K tomuto typu eroze dochází

nejčastěji ve sprašových půdách, které lehce podléhají destrukčním vlivům vody (Holý 1978; Janeček a kol 2002).

4.4.4 Podle místa působení

- **On-site efekt**

Tímto termínem označujeme proces, kde dochází k přímému ovlivnění lokality v místě působení eroze. Dochází zde ke snížení kvality půdy, kvůli odnosu půdních částic vodou či větrem (Favis-Mortlock a Mulan 2005), což vede ke snížení produktivity půdy (Lal 2001).

- **Off-site efekt**

Zde se jedná o proces, kde vznikají důsledky eroze na jiném místě, než kde eroze probíhala. Projevuje se zejména akumulací a sedimentací jak odnesených půdních částic, tak i chemických látek, obsažených v erozní smyvu (Favis-Mortlock a Mulan 2005; Morgan 2005). Tento druh eroze může mít negativní enviromentální následky – zhoršená kvalita půdy, vody, ovzduší. S nimi jsou spojené následky ekonomické – náklady na odstranění znečištění, škody na majetku a infrastruktuře aj. (Lal 1998).

4.5 Příčiny eroze

Česká republika patří k zemím s největšími půdními bloky v Evropě, a to zejména kvůli intenzifikaci zemědělství v minulosti. Spojováním půdních bloků docházelo k odstraňování přírodních prvků, které zabraňovali zrychlené erozi (MZe 2011). Vznik, průběh a intenzita erozních procesů jsou ovlivňovány působením přírodních a lidských faktorů (Janeček a kol 2005).

Příčiny eroze se dělí na:

- **Klimatické a hydrologické**

Do této kategorie patří zeměpisná poloha, nadmořská výška, teplota a vlhkost ovzduší, srážky, výpar, směr a síla větru a povrchový odtok (Holý 1978). Na území ČR je nejvýznamnější faktor srážek a zejména jejich intenzita a trvání, které vytváří povrchový odtok (Cablík a Jůva 1963). Ten vzniká ve chvíli, kdy intenzita deště je vyšší než vsakovací schopnost půdy (Janeček a kol 2008). Za erozně nebezpečné se považují srážky, jejichž úhrn je vyšší než 12,5 mm a intenzita deště překračuje 24 mm/h. Dle ministerstva zemědělství ČR (2011) se přes 80 % všech erozně nebezpečných dešťů vyskytuje v období letních měsíců.

- **Morfologické**

Ke zvyšování erozní činnosti z hlediska morfologie přispívá zejména sklon, délka a expozice svahů a členitost a tvar terénu. Delší a sklonitější svahy jsou na erozi náchylnější než kratší a méně sklonité (Janeček a kol 2005). Vlivem tvaru terénu se může plošný povrchový odtok snadno měnit v odtok soustředěný, který páchá větší škody na půdním profilu (Vlasák a Bartošková 2009).

- **Geologické a půdní**

Každý půdní druh je jinak náchylný k erozi (Vlasák a Bartošková 2009). K vlastnostem ovlivňujícím míru eroze patří především textura a struktura půdy, její vlhkost a zvrstvení, obsah organických látek a povaha horninového substrátu (Janeček a kol 2008). Nejdůležitějším půdním faktorem při vodní erozi je vsakovací schopnost půdy, díky níž vzniká povrchový odtok (Floor 2000). U větrné eroze je nejdůležitější vlhkost půdy a obsah jílnatých částic (<0,01 mm) v kombinaci se členitostí terénu (Janeček a kol 2005). V období sucha může dojít k výraznému snížení půdní vlhkosti, které má za následek uvolnění vzájemných vazeb mezi půdními částicemi a jejich následný transport větrem (Wall a kol 1987).

- **Vegetační**

K vegetačním faktorům napomáhajícím ke vzniku eroze patří zejména absence vegetačního krytu půdy (Tlapák a kol 1992). Vegetační pokryv má především ochrannou funkci před erozí. Chrání půdu před přímým dopadem srážek, zlepšuje vsakovací schopnost půdy, zpomaluje povrchový odtok a zlepšuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy (Holý 1978). Mezi hlavní parametry ovlivňující efektivitu ochrany půdy vegetačním krytem je zejména jeho hustota a životnost (Wall a kol 1987; Janeček a kol 2005). Druh vegetace také velkou měrou ovlivňuje ochrannou funkci. Nejlépe si vedou přirozené lesní a luční porosty, které poskytují ochranu v řádech až desítek let, nejmenší ochranu nabízejí polní plodiny (Cablík a Jůva 1963). Odlesnění či jiné odstranění vegetace je také jednou z hlavních příčin vodní eroze na našem území (Janeček a kol 2002).

- **Způsob využívání a obohacování půdy**

Člověk může ovlivnit erozi svým hospodařením s krajinou. Může rozhodovat v záležitostech jako jsou velikosti půdních bloků, směr a technologie obdělávání či výběr plodin a hnojiv (Morgan 2005). Pokud nedochází k obměně plodin, může dojít k jednostrannému vyčerpání půdy (Janeček a kol 2005). Mezi další antropogenní vlivy na erozi patří také nadměrná pastva, spalování biomasy, těžba a odlesňování (Osman 2013).

4.6 Důsledky eroze

Negativní důsledky vodní eroze lze rozdělit do 3 skupin:

4.6.1 Ztráta půdy

Jedním z hlavních důsledků vodní eroze je ztráta půdy především svrchní části půdy – ornice. Tato ztráta půdy je z velké části trvalá, jelikož, i když je odnesený sediment vytěžen, málokdy je dopraven zpět na postižený pozemek (Janeček a kol 2008). Vodní eroze postupuje selektivně, nejprve odnáší nejjemnější půdní částice, kterými je nejčastěji organická hmota a živiny. Ubytek organické hmoty postihuje nejvíce zemědělství, kde dochází ke snížení úrodnosti, a tedy i snížení výnosu (Dostál a kol 1996).

Ztráta jemných půdních částic má za následek změnu půdní textury a snižuje sorpční vlastnosti půdy. Vlivem toho je takto postižená půda ochuzena o zásobu vláhy, kterou není schopna kvůli své textuře dostatečně vázat (Janeček a kol 2008). V obdobích sucha má tento nedostatek vláhy výrazný vliv na vývoj vegetace. Ztráta půdy vede také ke snížení biodiverzity na příslušném území, protože rostlinné druhy a drobní živočichové ztrácí svá přirozená stanoviště (Holý 1994).

4.6.2 Transport a sedimentace půdních částic

Zejména následkem plošné eroze dochází ke změně zrnitostního složení půdy směrem po svahu. Ve svrchní části je půda hrubozrnná, v dolní je naopak jemnozrnná. To má za následek nerovnoměrné rozložení půdní vlhkosti po svahu. Hrubozrnná část vysychá výrazně dříve a rychleji než jemnozrnná část (Holý 1994).

Nedojde-li k uložení jemných částic na původním svahu, jsou dále transportovány povrchovým odtokem do hydrografické sítě, v níž tvoří převážnou část splavenin. Jistý podíl takto unášených částic je zachycen dříve, než se dostane do recipientu. Tento poměr odnosu (DR – delivery ratio) závisí na vlastnostech povodí

mezi zdrojem a recipientem sedimentu (Lu a kol 2004). Jsou-li v tomto povodí prvky s vysokou drsností, které zpomalují odtok a zachycují splaveniny (lesy, meze, remízky apod.), je množství splavenin, které se dostanou do hydrografické sítě, malé. V případě homogenních pozemků (velké, nedělené, nevhodně obdělávané pozemky) je zachycení splavenin v povodí velmi malé. Většina splavenin se tedy dostává do hydrografické sítě, kde zanáší vodné toky, vodní nádrže a stavby na tocích (Pasák a kol 1984)

U vodních toků dochází zejména k zanášení koryta a snižování hloubky toku. To má za následek zvyšování hladiny toku a postupné zamokřování okolních pozemků. Negativním dopadem jsou také vyšší náklady na údržbu a čištění, což narušuje stabilitu a ekologickou funkci koryta (Janeček a kol 2007).

U vodních nádrží dochází jak k zanášení dna, tak ale i u vtoku do nádrže. Prostor kolem vtoku zarůstá vegetací což snižuje rychlost průtoku, následkem je další sedimentace a snížení hloubky vody – dochází k zazemňování nádrže (Holý a kol 1984).

4.6.3 Transport chemických látek

Vodní eroze způsobuje také znečištění vodních toků a nádrží. To může být buď fyzikální, jež se projevuje zakalením vody ovlivňujícím biodiverzitu v okolí, nebo chemické, především průmyslová hnojiva a pesticidy. (Novotný a kol 2014). Zemědělské hospodaření má značný vliv na stav a kvalitu povrchových a podzemních vod. Na vodní toky a nádrže nepříznivě působí zejména živiny jako fosfor a dusík. Zvýšená koncentrace dusičnanů znehodnocuje vodu pro pitné účely a zvýšená koncentrace fosforu způsobuje eutrofizaci vod (Lou a kol 2016). Důsledkem je nejprve přemnožení planktonu a sinic. Po masovém odumření tohoto vodního květu se projeví nedostatek kyslíku ve vodě a následné vymírání ryb a dalších živočichů (Štěpánek a Červenka 1947).

4.7 Protierozní opatření

Úkolem protierozní ochrany je chránit dva důležité přírodní zdroje, vodu a půdu, a předejít následným škodám. Základním požadavkem u protierozní ochrany je komplexnost. Pro práci s protierozními opatřeními uvažujeme v rámci celého povodí

jako základní jednotky, v níž lze komplexní soustavou opatření upravit odtokové poměry (Holý 1994).

Protierozní opatření mají většinou více funkcí. Přispívají např.: k retenci krajiny, ekologické stabilitě, biodiverzitě, protipovodňové ochraně aj. (Bartošáková a Vlasák 2007).

K omezení důsledků vodní eroze hodnotí protierozní ochrana, jako nejdůležitější, následující faktory:

- ochrana půdy před účinky dopadajících kapek deště
- podpora infiltrace
- omezení a soustředění povrchového odtoku (Novotný a kol 2014)

Při řešení protierozních opatření se postupuje od nejjednodušších a nejméně finančně nákladních (organizační a agrotechnická) po složitější a nákladnější technická opatření (Novotný a kol 2014). Opatření jsou navrhována s ohledem na zájmy vlastníku půdy, ochranu přírody, životní prostředí a tvorbu krajiny (Janeček a kol 2012).

Při návrhu protierozních opatření se musí dbát na:

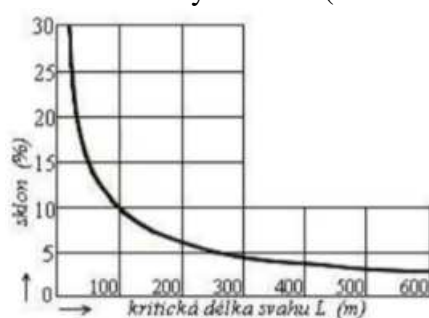
- odtokové poměry území
- stav prvků hydrografické sítě
- dráhy soustředěného povrchového odtoku
- stav současných melioračních zařízení
- formu erozních procesů (MZe 2011)

4.7.1 Organizační protierozní opatření

Tyto opatření využívají nástrojů pozemkových úprav, které pracují s charakteristikou jednotlivých pozemků (Janeček a kol 2008). Tato opatření jsou nejjednodušší a finančně snadno dostupná. Organizační opatření lze rozdělit na:

- Změny velikosti a tvaru pozemku:
Jedná se o opatření, kdy je nutno řešit parametry pozemků. Zmenšením délky svahu se dá snížit možná eroze, změnou tvaru pozemku lze docílit jiného systému obhospodařování. Umístěním delší strany pozemku po vrstevnici lze docílit lepší míru infiltrace v místě dopadu srážek a snížení povrchového odtoku (Burian a kol 2011). Při volbě velikosti

pozemků se střetávají dva protichůdné faktory. Faktor ekonomický usiluje o co největší pozemky pro snadné obhospodařování, naopak faktor přírodní se snaží o menší pozemky, kvůli protierozním vlivům (Janeček a kol 2007). Pro efektivní protierozní ochranu je nutné, aby délka svahu pozemku nepřesahovala přípustnou délku (obr. 2), stanovenou na základě vypočtené přípustné ztráty půdy (Burian a kol 2011). Tato podmínka platí i pro skupinu pozemků, oddělených hranicemi, které nejsou uzpůsobeny k záchytu povrchového odtoku. Doporučená maximální velikost pozemku v rovinných oblastech je 50 ha a ve svažitých 20 ha (Janeček a kol 2012).



Obr.2: Kritická délka svahu (Holý 1978)

- Delimitace druhů pozemků:

Jedná se o členění pozemků dle využití k pěstování jednotlivých kultur. Tímto způsobem se dá zemědělský půdní fond kategorizovat na ornou půdu, pastviny, louky, zahrady, sady, vinice a chmelnice (Janeček a kol 2012).

- Ochranné zatravnění a zalesnění:

Je využíváno zejména na půdách, které nejsou momentálně využívány jako orné (Burian a kol 2011). Víceletý travní porost má až stonásobně větší protierozní účinek, než osev kukuřicí či bramborami (Jarošek 2010). Pro optimální zalesnění se doporučuje les smíšený s bohatým bylinným patrem. Zalesnění zajišťuje vysokou protierozní ochranu (Burian a kol 2011).

- Protierozní rozmísťování plodin:

Jedná se o zásadu, kdy se plodiny nedostatečně chránící půdu (kukuřice, brambory) umísťují do rovinných oblastí (Burian a kol 2011). Nejvíce erozí ohrožená půda je bez vegetačního pokryvu (MZe 1995).

Plodiny se dají rozdělit do několika kategorií, dle jejich účinnosti v protierozní ochraně:

1. Jeteloviny
2. Trávy
3. Obilniny
4. Olejniny
5. Širokořádkové plodiny (Hůla a kol 2008)

	Stanovištní poměry				Vhodné kultury	
	území	půda	podzemní voda	erozní činnost	obecně	jmenovitě
Rozvodí	strmé	hrubozrnná (smytá)	hluboko	denundace	hluboko kořenící trvalé	smíšený les
	náhorní roviny	středně těžká	středně hluboko	nevýrazná	méně odolné erozi	polní (brambory)
Svahy	mírné	lehčí (smytá)	středně hluboko	transport	více odolné erozi	pole, louky
	strmé	lehká (silně smytá)	hluboko	denundace + transport	hluboko kořenící trvalé	sady, vinohrady, lesy
Údolí	rovinné	těžká (akumulovaná)	vysoko (inundace)	sedimentace + kolmace	mělce kořenící vlhkomilné	pícniny, louky, zelenina

Tab. 2: Polohové rozmístění kultur (Holý 1978)

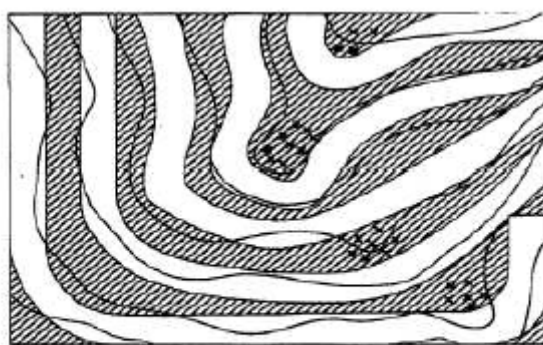
- Protierozní osevňovací postupy:

Jedná se o pravidelné střídání plodin v rámci několika let. Osevňovací postupy jsou tvořeny tak, aby se zachovala úrodnost půdy a zajistily se vyšší výnosy. (Holý 1978). Pro ekologické zemědělství je osevňovací postup velmi důležitým systémovým opatřením. Vhodným využitím osevňovacího postupu lze zvýšit výnosy až o 20 % (Urban a kol 2003). Na našem území je vhodný osevňovací postup, kde je zastoupení plodin následující: 45 až 50 % obiloviny, 25 až 30 % okopaniny a 25 až 30 % luštěniny a pícniny (Holý 1978).

- Pásové střídání plodin:

Střídají se zde různě široké pásy erozně více náchylných plodin (širokořádkové plodiny) s plodinami erozně stabilnějšími (obilniny,

travní porosty) (MZe 2013). Šířka pásů se odvíjí od sklonu a délky svahu, propustnosti půdy a její náchylnosti k erozi (Burian a kol 2011). Doporučená šířka pásu je mezi 20 a 40 metry a počet pásů závisí na délce svahu. U vrstevnicových pásů dochází k tzv. opravě, kdy mezi stejně široké pásy plodiny vnášíme nestejně široké pásy travního porostu kvůli zachování stejné šířky plodinových pásů (viz. obr. 3) (MZe 1995; Janeček a kol 2012). Pásky by měly být vedeny s maximální odchylkou 30° od vrstevnice (MZe 2011).



Chráněné plodinové pásy (kukuřice apod.)

 Ochranné pásy (zatrávnění nebo ozimá obilnina)

Obr. 3: Pásové střídání plodin (Janeček a kol 2012)

4.7.2 Agrotechnická protierozní opatření

Agrotechnická opatření se řadí mezi jednoduchá a levná řešení, která mají princip v technologických postupech (Lacková 2015). Tato opatření zvyšují infiltrační schopnost půdy, snižují její erodovatelnost a chrání její povrch v letních měsících, kdy je nejčastější výskyt přívalových srážek (MZe 2011).

Mezi agrotechnická opatření řadíme:

- Zpracování půdy:

Toto opatření se dá charakterizovat jako ochranné obdělávání půdy, kde je snaha o redukci počtu operací jejich slučováním. Vyznačuje se zejména vnášením organické hmoty do půdy a ochranou jejího povrchu rostlinnými zbytky (MZe 1995; Hůla a kol 2008). Místo orby je zde upřednostňováno mělké kypření půdy, nedochází zde tedy k obracení zpracované vrstvy půdy (MZe 1995; Janeček a kol 2012). Kypření má průkazný vliv na zvýšení infiltrace (Hůla a kol 2008). Při kypření strništních ploch se rostlinné zbytky zapravují jen částečně, aby chránili povrch půdy před erozí. Vytváří se zde tzv. mulč (MZe 1995). Kromě

setí do mulče se používají také metody setí do ochranné plodiny, setí do mělké podmítky a setí s podplodinou do meziřadí (MZe 2013)

- Vrstevnicové obdělávání:

Při tomto opatření se veškeré úkony s půdou dějí podél vrstevnic. Od setí přes kultivační až po sklizňové operace (MZe 1995). Vrstevnicové obdělávání není možné na každém svahu, podmínkou je zde přístup a možnost použití mechanizačních prostředků (MZe 2011). Orbou po vrstevnicích a překlápěním půdy proti svahu se dá výrazně přispět k ochraně půdy. Vznikají mikroreliefy, které zpomalují povrchový odtok, zvyšují infiltraci a nedochází k tak velkému odnosu živin a organických látek (Jarošek 2010).

- Hrázkování:

Kultivační postup je stejný jako v normálním případě, avšak při výsadbě i během kultivace se provádí hrázkování meziřadí speciálním strojem – hrázkovačem. Vznikají tak akumulární prostory pro zachycení povrchového odtoku přímo na pozemku (Burian a kol 2011).

- Důlkování:

Tato technologie se používá především u širokořádkových plodin. Ke klasickému stylu pěstování jsou zde hloubeny důlky v meziřadí s rozestupy 30 až 40 cm. Během srážek zachytávají důlky povrchový odtok, který zůstává na pozemku a zvyšuje infiltraci. Na 1 ha lze vytvořit cca 28 000 důlků o objemu 2 l, které jsou schopny zadržet 56 m³ dešťové vody (MZe 2011).

- Plečkování, dlátování, podrývání:

Plečkování je mechanický odplevelovací proces, kdy dojde k nakypření půdy v meziřadí čímž se zpomalí povrchový odtok a omezí vodní erozi. Dlátování je obdoba plečkování, ale provádí se do větší hloubky. Využívá se zejména u cukrové řepy. Podrývání se neprovádí v meziřadí, ale na celém pozemku. Jde o velmi hluboké kypření (od 35 cm) bez obracení půdy (MZe 2013).

4.7.3 Technická protierozní opatření

K návrhu technických protierozních opatření se přistupuje v případě malé účinnosti již navržených organizačních a agrotechnických opatření (Lacková 2015). Hlavním úkolem technických opatření je ochrana intravilánu, infrastruktury nebo sousedních pozemků. Ty chrání především před soustředěným povrchový odtokem a smyvem půdy (MZe 2013). Mezi nejčastější funkce technických opatření patří vyrovnání terénních příčných nerovností a snížení podélného sklonu (Burian a kol 2011). Mimo protierozní funkci mají také krajinně estetický a ekologický význam spolu s doprovodnou zelení (Janeček a kol 2012).

Mezi technická protierozní opatření patří:

- Terénní urovnávky

Jedná se o nejjednodušší technické protierozní opatření. Spočívají v odstranění terénních nerovností a útvarů, které negativně ovlivňují povrchový odtok (MZe 2013) Terénní urovnávky je možné provádět pouze na hlubokých půdách (Janeček a kol 2002).

- Terasování

Toto opatření se využívá na extrémně svažitéch pozemcích s hlubokou půdou a se sklonem vyšším než 20 % (Burian a kol 2011). Principem terasování je rozdělit svah na úseky a ty oddělit terénními stupni.

Terasy se dělí z hlediska rozměru na:

- úzké - 1 až 2 řady plodiny
- široké - 3 a více řad
- terasové dílce – nepravidelné útvary

Z hlediska stabilizace se dělí na:

- terasy s technicky zabezpečeným svahem – opěrná zeď z kamene či betonu
- terasy zemní – svah je stabilizován jen vegetací (obr.4) (MZe 2013).

Zemní terasy jsou finančně a technologicky méně náročné ale zabírají více místa. Sклон svahu je zde doporučován 1:1 až 1:1,5 v závislosti na převýšení svahu a půdních podmínkách (MZe 2013) Kvůli své finanční a technické náročnosti a také kvůli velikému zásahu do krajinného rázu

se terasování používá jen v krajních případech (Janeček a kol 2012). Většinou se využívá pro pěstování vinné révy či ovocných stromů (MZe 2013). Při návrhu je nutné uvažovat o jejich optimálním využití vzhledem k okolním pozemkům. Je nutné zajistit přístupové body pro mechanizaci a naplánovat odvodňovací a závlahové systémy (Janeček a kol 2012). Terasy se skládají z plochy, svahu a doprovodných objektů (Burian a kol 2011).

Legenda ke schématu:

(1)=terasová plošina (T_p)

(2)= pata terasy (P_t)

(3)= hrana terasy (H_t)

(4)= svah terasy (S_v)

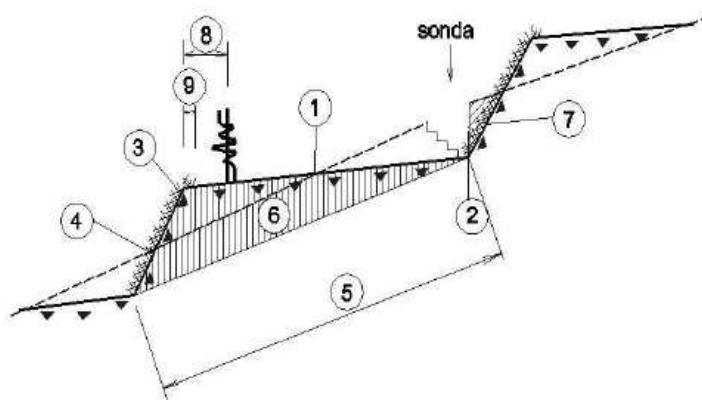
(5)= rozchod teras (R_t)

(6)= tělo terasy

(7)= narušený půdní profil (h)

(8)= okraj terasy (O_t)

(9)= okrajový pás (O_p)



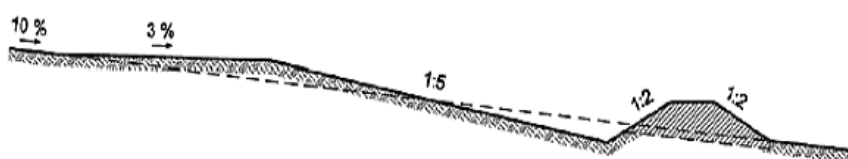
Obr. 4: Schéma zemní terasy (Janeček a kol 2012)

- Zatavněné údolnice

Povrchový odtok se přirozeně soustřeďuje v údolnicích. V případě zatavnění se sníží erodovatelnost těchto drah a zvýší jejich stabilita především při přívalových deštích a v období jarního tání. (Burian a kol 2011). Pro návrh příslušných parametrů zatavnění údolnic je třeba znát hydrologické podklady a hydraulické parametry, ze kterých vypočteme parametry průtočné plochy, příčného profilu a potřebu opevnění (Janeček a kol 2012). Údolnice mohou soustřeďovat jak plošný povrchový odtok, tak mohou být zapojeny do systému dalších protierozních opatření a odvádět odtok z protierozních příkopů či průlehů (MZe 2013).

- Protierozní hrázky

Protierozní hrázky slouží jako ochrana objektů před povrchovým odtokem a erozním smyvem a situují se nejčastěji na úpatí svahu. Povrchový odtok zachytí a odvedou mimo chráněnou lokalitu (Janeček a kol 2012) Hrázky se dimenzují na příslušnou retenci odtoku a měly by být vybaveny vypouštěcím zařízením s ochrannou mříží (Burian a kol 2011). Hrázky se dělí na přejezdné a nepřejezdné. Hrázky nepřejezdné mají základnu širokou 80 až 150 cm, sklon svahu 1:1,5 a výšku 15 až 30 cm. Hrázky přejezdné mají základnu 2 až 4 m, sklon svahu min. 1:5 a výšku až 90 cm (Janeček a kol 2012).



Obr. 5: Vzorový příčný řez ochranné hrázky (Janeček a kol 2012)

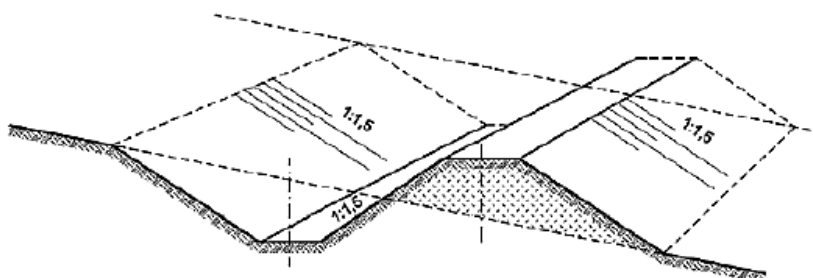
- Protierozní příkopy, průlehy

Protierozní příkopy slouží k zachycení a odvedení povrchového odtoku a chrání tím níže položené lokality (Burian a kol 2011). Dle funkce se dělí na:

- záchytné – chrání pozemek před přítokem vnějších vod
- sběrné – zachytávají vodu přímo z pozemku
- svodné – pro zajištění neškodného odtoku do recipientu (MZe 2013)

Zpracování protierozních příkopů je zpravidla z hladkého betonu, či dlážděné, ale u záchytných příkopů se využívá i variant se zatravněným pásem, se sedimentačním pásem nebo s vegetačním doprovodem (Janeček a kol 2012). Dimenzování příkopů se provádí pro dané N leté průtoky na základě hydrotechnických výpočtů. Do svodných příkopů může být zavedeno více příkopů sběrných, má tedy zpravidla větší dimenzi (MZe 2013).

Protierozní průlehy jsou zpravidla mělkší a širší než příkopy a jsou využívány na méně svažitéch lokalitách. Stejně jako příkopy se dělí na zachytňné, sběrné a svodné, ale díky nízkým sklonitostem nejsou často zpevňovány (Janeček a kol 2012).



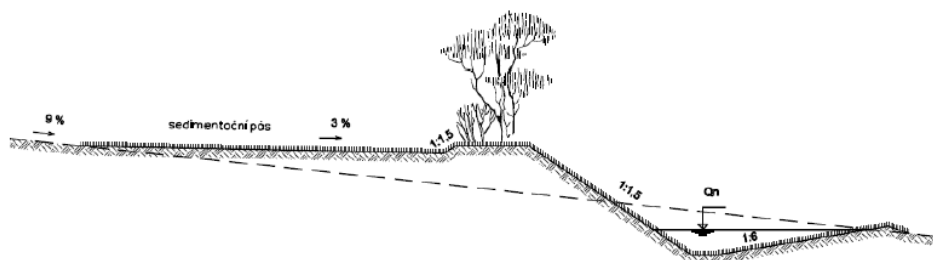
Obr. 6: Vzorový řez zachytňným korytem (Janeček a kol 2012)

- Protierozní meze

Protierozní meze dělíme na historické a současné. Historické meze se budovaly na hranicích pozemku, kde snižovali podélný sklon svahu, zastávali tedy spíše funkci terasy. Současné meze jsou navrhovány především za účelem protierozní ochrany, mají ale také krajinyotvornou funkci (MZe 2013). Pro nejvyšší efektivitu protierozní ochrany by měly být meze tvořeny ze tří částí:

- zasakovací pás nad mezí
- vlastního tělesa
- odváděcí průleh či příkop (Janeček a kol 2007)

Protierozní meze jsou navrhovány s podélným sklonem 2 až 5 % s výškou maximálně 1,5 m a sklonem svahu hrázky 1:1,5. Pod hrázkou je mez napojena na svodný průleh či příkop ve sklonu 20 %. Ten je dimenzován na N letý průtok. Zasakovací pás na mezí by měl být zatravněn v minimální šířce 6 m (Janeček a kol 2012).



Obr. 7: Vzorový příčný řez meze (Janeček a kol 2012)

- Protierozní nádrže

Protierozní nádrže jsou nejvyšší formou ochrany intravilánu a infrastruktury před půdním smyvem a soustředěným povrchovým odtokem (MZe 2013). Jedná se o koncový prvek v systému protierozní ochrany nejčastěji v rámci společných zařízení pozemkových úprav, kde se řeší vlastnické vztahy (Janeček a kol 2012). Hlavními prvky protierozní nádrže jsou:

- hráz
- výpustné zařízení
- výpust'
- bezpečnostní přeliv
- náпустný objekt
- zpevněný sjezd a manipulační plocha – pro pravidelnou údržbu v případě předpokladu většího množství splavenin (Janeček a kol 2012)

Nádrže jsou nejčastěji navrhovány jako suché – bez trvalého zadržetí, které slouží jako akumulací prostor pro povrchový odtok a k zachycení splavenin. Pokud je nádrž navrhována pouze pro tyto účely, je zachytáván celý povrchový odtok, který je po usazení splavenin vypouštěn (MZe 2013). Suché nádrže jsou upřednostňovány také díky pozitivnímu vlivu na kvalitu vody, pro možnost údržby dna po vypuštění a vyschnutí (Burian a kol 2011). Objem nádrží se dimenzuje na objem vody z 50 - letého průtoku. Při objemu vyšším než 5000 m³ je nutno se řídit dle ČSN75 2410 „Malé vodní nádrže“ (Janeček a kol 2012). Protierozní nádrže se řadí mezi hydrotechnické stavby a musí být proto navržena a postaveny dle platných norem a autorizovanou osobou (MZe 2013).

- Komunikační síť

Mezi doplňkové prvky protierozní ochrany patří polní cesty a další objekty k nim přidružené. Polní cesty jsou součástí každého pozemku, či skupiny pozemků. Často jsou doprovázeny cestními příkopy či průlehy, které mají jistý stupeň protierozní ochrany (Burian a kol 2011). Navrhování a umístění cest bývá v souladu s protierozními zásadami –

vedení po vrstevnici, přerušení dlouhého erozně ohroženého svahu (MZe 2013). Samotné polní cesty přerušující svahy mají také protierozní funkci, kde chrání níže položené pozemky před soustředěným povrchovým odtokem (Holý 1978). Toto opatření má minimální dopady z hlediska omezení pozemku. V případě kombinace s dalšími protierozními opatřeními je nutné splňovat požadavky jak protierozní, tak i cestní. Dalšími objekty v této kategorii jsou například: cestní příkopy a průlehy, propustky, přejezdy (MZe 2013).

4.8 Určení ohroženosti pozemku vodní erozí

4.8.1 Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE)

Vznik, průběh a intenzita erozních procesů je ovlivněna kombinovaným působením přírodního a lidského faktoru (Wall a kol 1987). V roce 1978 sestavily Wischmeier a Smith univerzální rovnici pro výpočet ztráty půdy (Universal Soil Loss Equation – USLE) (Janeček a kol 2012).

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Kde:

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

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

K – faktor erodovatelnosti půdy

L – faktor délky svahu

S – faktor sklonu svahu

C – faktor ochranného vegetačního pokryvu

P – faktor účinnosti protierozních opatření

USLE určuje průměrnou roční ztrátu půdy na daném pozemku, díky čemuž je možné vybrat vhodné protierozní opatření, případně navrhnout přípustnou délku svahu pro určitý systém hospodaření na pozemku (Vrána 1998). Rovnice nelze použít pro kratší období než 1 rok a pro zjištění ztráty půdy z jednotlivých srážek nebo tání sněhu (Janeček a kol 2002).

Výsledkem USLE je hodnota *G* – průměrná dlouhodobá ztráta půdy za rok, při současném způsobu hospodaření. Pokud hodnota *G* převyšuje hodnoty tzv. „přípustných ztrát“ stanovených dle hloubky půdního profilu uvedených v tab. 3, je

zřejmé, že pozemek nemá dostatečnou ochranu před vodní erozí a je potřeba navrhnout protierozní opatření, které upraví příslušné faktory v rovnici USLE (Janeček a kol 2007).

Půdy mělké (do 30 cm)	Doporučeno převést na trvalý travní porost
Půdy středně hluboké (30 až 60 cm) a hluboké (nad 60 cm)	4 t · ha ⁻¹ · rok ⁻¹

Tab. 3: Přípustné ztráty půdy dle hloubky půdy (Novotný a kol 2017)

Faktory USLE:

- Faktor erozní účinnosti deště – R

Faktor R závisí na četnosti výskytu srážek, jejich kinetické energii, intenzitě a úhrnu (Janeček a kol 2007). Účinek kinetické energie kapek se nejvíce projevuje na začátku srážky. Na půdním povrchu se ještě nestačila vytvořit vrstva povrchového odtoku dopadající kapky mají za důsledek narušení půdních agregátů, uvolňování půdních částic a zhutňování půdy (Janeček a kol 2012). Ztráty půdy jsou přímo úměrné kinetické energii deště a jeho maximální 30-minutové intenzitě (Dumas a kol 2010).

$$R = E \cdot i_{30}/100$$

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

E – celková kinetická energie deště [$J \cdot m^{-2}$]

i_{30} – max. 30minutová intenzita deště [$cm \cdot h^{-1}$]

Celková kinetická energie se vyjadřuje:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i$$

Kde: E_i – kinetická energie deště i -tého úseku deště, který získáme ze vztahu:

$$E_i = (206 + 87 \log i_{si}) \cdot H_{si}$$

Kde: i_{si} – intenzita deště i -tého úseku [$cm \cdot h^{-1}$]

H_{si} – úhrn deště v i -tém úseku [cm] (Janeček, a další 2013).

Dříve se R faktor určoval také ze vztahů:

$R = 0,058P + 10,5$, Kde: P – průměrný roční srážkový úhrn (mm)
(Toman a kol 1993)

$R = 0,141P_s - 1,48$, Kde: P_s – Průměrný srážkový úhrn v období od
1. května do 31. října (mm)
(Schwertmann a kol 1987)

V rámci ČR se kvůli řadě důvodů nedoporučuje faktor R regionalizovat. Používá se tedy univerzální hodnota $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ pro téměř veškerou zemědělskou půdy ČR. Pouze v případě ohroženosti půdy v horských oblastech se připouští hodnoty vyšší (Janeček a kol 2012).

- Faktor erodovatelnosti půdy – K

Faktor K určuje náchylnost povrchu půdy k narušení kinetickou energií dopadajících kapek deště a jeho odnosu povrchovým odtokem (Vaezi a kol 2008). Erodatelnost půdy je odvozena z těchto charakteristik:

- struktura
- obsah humusu
- propustnost
- frakce (Lacková 2015)

Faktor K lze stanovit:

- podle kódu BPEJ – 2. a 3. číslo
- podle půdních typů Taxonomického klasifikačního systému půd ČR
- podle nomogramu (obr. 8)
- podle vztahu odvozeného pro faktor K:

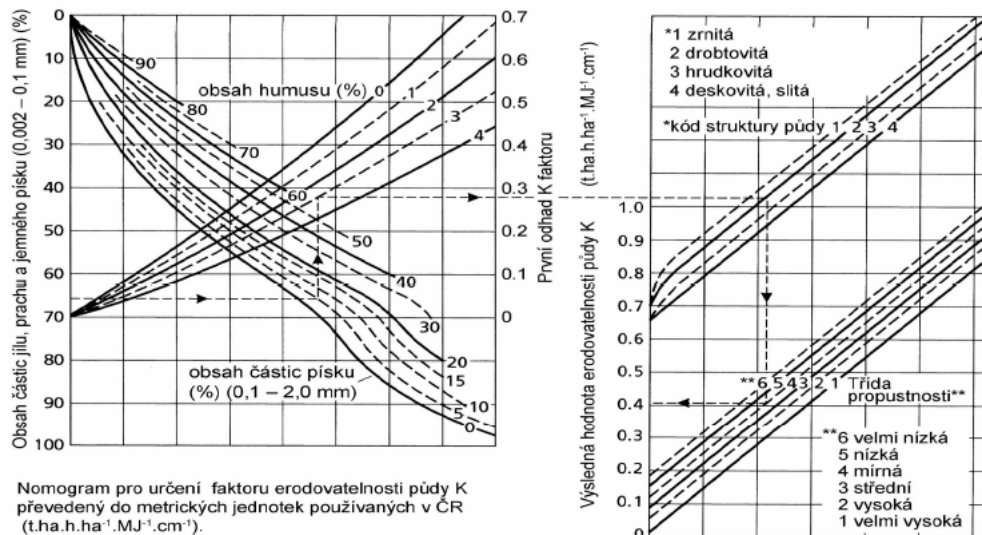
$$100K = 2,1M^{1,14} \cdot 10^{-4} \cdot (12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)$$

Kde: $M = (\% \text{ prachu} + \% \text{ písku}) \cdot (100 - \% \text{ jílu})$

a – procentuální obsah humusu ornice

b – třída struktury ornice

c – třída propustnosti půdního profilu (Janeček a kol 2012).



Obr. 8: Nomogram k určení hodnot faktoru (Janeček a kol 2012)

- Topografický faktor – LS

Tento faktor vyjadřuje vliv sklonu a délky svahu na intenzitu eroze (Janeček a kol 2012) Představuje poměr ztráty půdy na jednotku plochy ke ztrátě půdy na standardním pozemku o délce 22,13 m a sklonem 9 % (Janeček a kol 2012; Lacková 2015).

U faktoru L se počítá s délkou od místa vzniku povrchového odtoku k bodu, kde dochází k ukládání erodovaného materiálu, nebo se povrchový odtok soustředí do odtokové dráhy (Sklenička 2003). Hodnota faktoru L se stanoví ze vztahu:

$$L = \left(\frac{l}{22,13} \right)^m, \text{ kde: } \quad l - \text{horizontální projekce délky svahu [m]}$$

m – exponent sklonu svahu vyjadřující náchylnost k tvorbě rýžkové eroze (tab. 4)

Sklon svahu (%)	Poměr mezi rýžkovou a plošnou erozí			Sklon svahu (%)	Poměr mezi rýžkovou a plošnou erozí		
	Nízký	Střední	Vysoký		Nízký	Střední	Vysoký
0,2	0,02	0,04	0,07	12,0	0,37	0,55	0,71
0,5	0,04	0,08	0,16	14,0	0,40	0,57	0,72
1,0	0,08	0,15	0,26	16,0	0,41	0,59	0,74
2,0	0,14	0,24	0,39	20,0	0,44	0,61	0,76
3,0	0,18	0,31	0,47	25,0	0,47	0,64	0,78
4,0	0,22	0,36	0,53	30,0	0,49	0,66	0,79
5,0	0,25	0,40	0,57	40,0	0,52	0,68	0,81
6,0	0,28	0,43	0,60	50,0	0,54	0,70	0,82
8,0	0,32	0,48	0,65	60,0	0,55	0,71	0,83
10,0	0,35	0,52	0,68				

Tab. 4: Hodnoty exponentu sklonu svahu m v závislosti na sklonu svahu a poměru rýžkové eroze k plošné (Renard a kol 1997) in (Janeček a kol 2012)

Nízký poměr rýžkové eroze k plošné se vyskytuje na pastvinách a jiných půdách s trvalým vegetačním pokryvem. Střední poměr na pozemcích s řádkovými plodinami a vysoký poměr se vyskytuje na velmi zkyprěných půdách. Při sklonu svahu vyšším než 15 % se používá pouze vysoký poměr (Janeček a kol 2012).

Faktor sklonu S se určuje pomocí vztahu:

$$S = 10,8 \sin \theta + 0,03 \quad \text{pro sklon} < 9\%$$

$$S = 16,8 \sin \theta - 0,50 \quad \text{pro sklon} \geq 9\%$$

Kde: θ - úhel sklonu svahu [rad] nebo [m/m]

Pro přímý svah můžeme použít tab. 5:

S (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S	0,138	0,246	0,354	0,462	0,569	0,677	0,784	0,891	1,006	1,172
S (%)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S	1,337	1,502	1,666	1,829	1,992	2,154	2,316	2,476	2,636	2,795
S (%)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
S	2,953	3,11	3,266	3,421	3,575	3,727	3,879	4,03	4,179	4,327

Tab. 5: Tabulka pro výpočet faktoru S (Janeček a kol 2008)

V případě nepravidelnosti svahu se rozdělí do 10 stejně dlouhých úseků a výsledná hodnota S určí ze vztahu:

$$S = 0,03S_1 + 0,06S_2 + 0,07S_3 + 0,09S_4 + 0,10S_5 + 0,11S_6 + 0,12S_7 + 0,13S_8 + 0,14S_9 + 0,15S_{10}, \text{ kde:}$$

S_i – hodnota faktoru S pro i-tý úsek svahu, kdy S₁ je hodnota v nejvyšší poloze (Renard a kol 1997)in (Janeček a kol 2012).

- Faktor ochranného vegetačního pokryvu – C

Vegetační pokryv ovlivňuje ochranu povrchu půdy přímo a nepřímo. Přímo se projevuje ochranou povrchu půdy před mechanickým poškozením dopadajícími kapkami deště, kdy nedochází k půdnímu smyvu, a dále zpomalením povrchového odtoku. Za nepřímý vliv se považuje působení vegetace na půdní vlastnosti např.: pórovitost a propustnost, a dále zpevnění půdy kořenovým systémem (Dufková 2007; Janeček a kol 2012). Hustota porostu má přímý vliv na účinnost ochrany vegetací v době přívalových dešťů od dubna do září. Téměř dokonalou ochranu zajišťují porosty trav a jetelovin, naopak nedostatečnou ochranou funkci mají širokořádkové plodiny, což se dá zlepšit upravením hospodaření (Janeček a kol 2012). Faktor C se stanoví podle osevního postupu a podle střídání plodin na pozemku v uplynulých letech, a dále podle nástupu a způsobu agrotechnických prací v 5 ti obdobích:

- 1. období podmínky a hrubé brázdy
- 2. období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí
- 3. období po dobu druhého měsíce od jarního či letního setí
- 4. období od konce 3. období do sklizně
- 5. období strniště (Wischmeier a Smith 1978)

Hodnoty C faktoru v příslušných obdobích (Janeček a kol 2012) je nutné vyvážit poměrným rozdělením R faktoru v průběhu roku po příslušných časových úsecích.

V případě, že není znám osevní postup a nejsou dohledatelné záznamy o způsobu pěstování z předchozích let, nebo v případě, že pozemek je

velmi rozsáhlý, lze C faktor určit dle poměrného zastoupení plodin na daném území s využitím hodnot C faktoru uvedených v tab. 6.

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \quad \text{kde: } C - \text{výsledný faktor } C$$

C_i – dílčí faktor C dle poměrného zastoupení plodiny na daném území

Plodina	C faktor	Plodina	C faktor
pšenice ozimá	0,12	chmelnice	0,8
žito ozimé	0,17	řepka ozimá	0,22
ječmen jarní	0,15	slunečnice	0,6
ječmen ozimý	0,17	mák	0,5
oves	0,1	ostatní olejniny	0,22
kukuřice na zrno	0,61	kukuřice na siláž	0,72
luštěniny	0,05	ostatní píceiny jednoleté	0,02
brambory rané	0,6	ostatní píceiny víceleté	0,01
brambory pozdní	0,44	zelenina	0,45
louky	0,005	sady	0,45

Tab. 6: Průměrné hodnoty C faktoru pro jednotlivé plodiny (Janeček a kol 2012)

- Faktor účinnosti protierozních opatření – P

Faktor P vyjadřuje vliv protierozních opatření na zájmový pozemek (Holý 1978). Nabývá hodnot od 0 do 1, kdy hodnota 1 označuje holou půdu bez ochrany (Blanco a Lal 2008). Hodnota 1 se používá i v případě, zda nelze předpokládat, že podmínky (tab. 7). byly dodrženy. Každé uplatněné protierozní opatření snižuje hodnotu P faktoru (Dufková 2007; Janeček a kol 2012).

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

Tab.7: Hodnoty faktorů protierozních opatření P (Janeček a kol 2012)

4.8.2 Metoda CN – křivek

Tato metoda pomáhá predikovat objem přímého odtoku a velikost kulminačního průtoku v menších povodích o velikosti 5 až 10 km² (Williams a Berndt 1977). Jedná se o jednoduchý srážkoodtokový model s běžně dostupnými vstupy a dostatečnou přesností (Janeček a kol 2012). Hlavní využití má pro návrh technických protierozních opatření jako jsou dráhy soustředěného povrchového odtoku např.: zatravněné údolnice, průlehy, příkopy, malé vodní nádrže aj. (Pasák a kol 1984). Tuto metodu nelze použít pro výpočet odtoku z tání sněhu (Janeček a kol 2012). Jako základní vstup metody CN křivek se používá srážkový úhrn o určené době opakování za předpokladu, že je rovnoměrně rozložen na ploše povodí (Mazín a kol 2005).

Čísla odtokových křivek (CN) jsou určena podle:

- a) Hydrologických vlastností půd rozdělených do 4 skupin – A,B,C,D na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém sycení
- b) Vlhkosti půdy – určované na základě indexu předchozích srážek (IPS) ve 3 stupních:
 - IPS I – minimální vlhkost půdy pro uspokojivé hospodaření
 - IPS II – střední nasycení půdy vodou – nejběžnější pro návrhové účely
 - IPS III – půda přesycena vodou z předchozích srážek

c) Využití půdy – vegetační pokryv, způsob obdělávání a uplatnění protierozních opatření (Mazín a kol 2005).

- Objem přímého odtoku:

Přímý odtok se skládá z odtoku povrchového a části odtoku podpovrchového, kdy se do půdy infiltrovaná voda vrací zpět na povrch níže po svahu, poté co narazí na málo propustnou vrstvu (Krešl 2001). Objem přímého odtoku se určuje za předpokladu, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zadrženo. U přímého odtoku se počítá s počáteční ztrátou, která je součtem intercepce, infiltrace a povrchové retence. Tato ztráta byla na základě experimentálních měření stanovena na 20% potenciální retence ($I_a=0,2A$) (Janeček a kol 2012).

Základní vztahy pro určení výšky a objemu přímého odtoku:

$$\text{Výška: } H_o = \frac{(H_s - 0,2A)^2}{H_s + 0,8A} \quad \text{pro } H_s \geq 0,2A$$

Kde je: H_o – přímý odtok (mm)

H_s – úhrn návrhového deště (mm)

A – potenciální retence (mm),

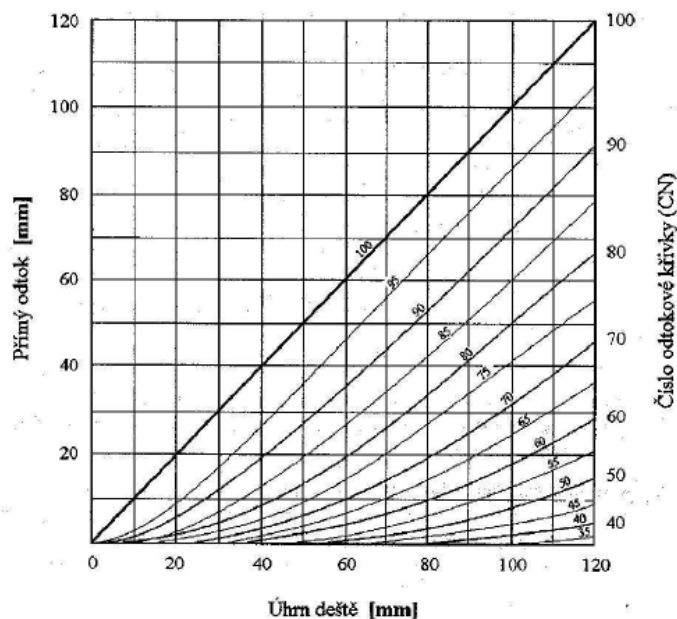
$$\text{kdy: } A = 25,4(1000/CN - 10)$$

CN – obr. 9

$$\text{Objem: } O_{ph} = 1000 \cdot P_p \cdot H_o$$

Kde je: O_{ph} – objem přímého odtoku (m^3)

P_p – plocha povodí (km^2) (Janeček a kol 2012)



Obr. 9: Závislost výšky přímého odtoku H_o na úhrnu deště H_s a čísla CN (Janeček a kol 2012)

- **Kulminační průtok:**

Kulminační průtok je nejvyšší (vrcholový) průtok za určité období. Odvozuje se z nepřímých hydrologických metod za pomoci CN křivek. Při jeho zjišťování je třeba složitější povodí rozdělit na dílčí celky s příslušnými čísly CN, dobami koncentrace a se způsoby využití (Janeček a kol 2012).

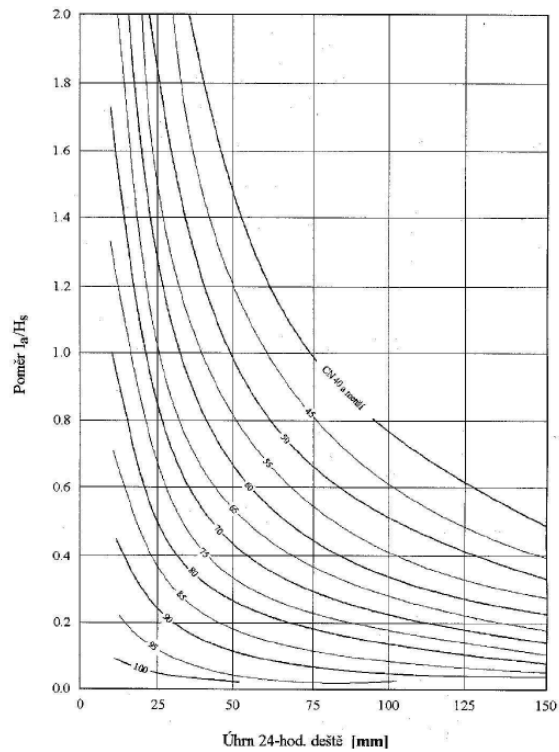
Pro výpočet kulminačního průtoku se v metodě CN křivek využívá poměr počáteční akumulace k jednodennímu maximálnímu srážkovému úhrnu I_a/H_s (obr. 10).

Kulminační průtok se vypočítá ze vztahu:

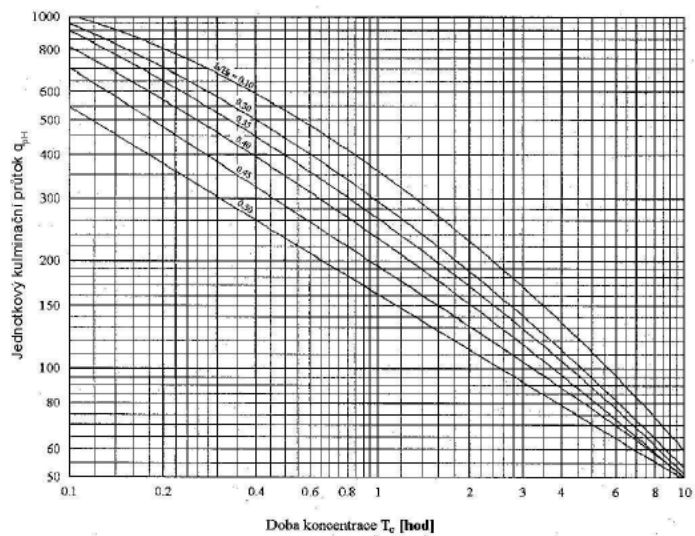
$$Q_{ph} = 0,00043 \cdot q_{ph} \cdot P_p \cdot H_o \cdot f$$

Kde je:

- Q_{ph} – výsledný kulminační průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$)
- q_{ph} – jednotkový kulminační průtok (viz obr.11)
- P_p – plocha povodí (km^2)
- H_o – výška přímého odtoku (mm)
- f – opravný součinitel pro rybníky a mokřady (pokud se v povodí vyskytují, pokud ne, je hodnota 1) (Janeček a kol 2012).



Obr. 10: Nomogram k určení I_d/H_s z 24-hod. úhrnu deště pro různá čísla CN (Janeček a kol 2012)



Obr. 11: Nomogram pro zjištění jednotkového kulminačního průtoku z doby koncentrace a poměru I_d/H_s (Janeček a kol 2012)

Doba koncentrace T_c je součet dílčích dob doběhu ve zvolené odtokové dráze. Dobou doběhu se označuje čas potřebný k tomu aby se voda přemístila z hydraulicky nejvzdálenějšího bodu povodí do uzavřeného profilu. Čím kratší je doba koncentrace, tím vyšší je kulminační průtok (Janeček a kol 2012).

4.8.3 Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy – RUSLE

RUSLE představuje simulační model v rámci počítačového softwaru, který je neustále aktualizován a zlepšován (Brady a Weil 2002). Vznikla v roce 1992 v USA a využívá data z experimentálního sledování erozních procesů z asi 10 000 přirozených odtokových ploch a asi 2 000 ploch s využitím polního simulátoru deště. Struktura rovnice je stejná jako u USLE, ale vztahy pro ni byly odvozeny na základě nových dat a poznatků (Jakubíková a Váška 2005).

4.8.4 Výpočet transportu splavenin a ztráty půdy

Pro odhad ztráty půdy z povodí lze využít modifikovanou rovnici USLE, tzv. MUSLE, ve které je hodnota R faktoru nahrazena součinem objemu přímého odtoku a kulminačního průtoku vypočtených metodou CN křivek (Janeček a kol 2008).

Rovnice MUSLE:

$$G = 11,8 \cdot (O_{ph} \cdot Q_{ph})^{0,56} \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Kde: G – transport splavenin z přívalového deště – ztráta půdy (t)

O_{ph} – objem přímého odtoku (m³)

Q_{ph} – velikost kulminačního průtoku (m³·s⁻¹)

K, L, S, C, P – faktory USLE – počítány váženým průměrem vztaženým k ploše povodí (Mazín a kol 2005)

4.8.5 Poměr odnosu

O poměru odnosu (DR – delivery ratio) se dá uvažovat jako o ztrátě v transportu splavenin. Jedná se o parametr, který určuje, jak velké množství splavenin bylo zadrženo na pozemcích než dosáhly uzávěrového profilu povodí (Janeček a kol 2008). V případě účinnosti protierozních opatření se hodnota DR může blížit k hodnotě 0, tudíž téměř všechny splaveniny byly zachyceny (Podhrázká a Dufková 2005). Poměr odnosu je přímo úměrný velikosti odtoku, sklonu svahu a erozi koryta odtoku a nepřímo úměrný velikosti transportovaných částic, vzdálenosti transportu, hustotě vegetačního pokryvu a překážkám (Pasák a kol 1984).

Pro výpočet poměru odnosu není vytvořena univerzální rovnice, dají se ale dohledat návody pro přibližné určení této hodnoty pro určité povodí (Podhrázká a Dufková 2005).

4.8.6 Technologické simulátory

Pro určení ohroženosti pozemků erozí a pro hodnocení efektivity protierozních opatření se dají využít simulace za použití technických přístrojů. Jedním z takových přístrojů je například polní simulátor deště, který umožňuje zkoumat účinky návrhové srážky s předem danými parametry (velikost kapek, intenzita srážky, délka trvání). V průběhu měření lze stanovit velikost povrchového odtoku, míru infiltrace, množství organické hmoty ve splaveném sedimentu aj. (Kincl a kol 2018).

5 Výsledky

Jednotlivé výsledné hodnoty jsou pro každý půdní parametr rozděleny na dvě části, podle režimu zadržování polním simulátoru deště, kde první simulace byla prováděna 30 minut a po 15-minutové přestávce byla druhá simulace prováděna 15 minut.

5.1 Zhodnocení závislosti vlastností půdy na ztrátu organické hmoty

Koeficienty korelace R a hodnoty p pro dílčí vlastnosti a parametry půd jsou k dispozici v souhrnné tabulce (Tab. 8). Záporné hodnoty korelačního koeficientu r značí nepřímou lineární závislost.

Ztráta organické hmoty v závislosti na:	Hodnota – R		Hodnota – p	
	1. simulace	2. simulace	1. simulace	2. simulace
počáteční vlhkosti [%]	0,260	0,399	0,049	0,002
sklonitosti [%]	0,217	0,166	0,102	0,212
relativní pórovitosti [%]	-0,219	-0,296	0,098	0,024
obsahu zrn (<0,002 mm) [%]	0,397	0,710	0,002	0,000
obsahu zrn (<0,01 mm) [%]	0,353	0,686	0,007	0,000
obsahu zrn (<0,05 mm) [%]	0,323	0,633	0,013	0,000
obsahu zrn (<0,1 mm)[%]	0,363	0,654	0,005	0,000
koncentraci org. hm. [%]	0,050	0,197	0,710	0,139
výšce povrchového odtoku [mm]	0,482	0,367	0,000	0,005
infiltraci [mm]	-0,416	-0,339	0,001	0,009
době nástupu povrchového odtoku [s]	-0,231	-0,338	0,081	0,009

Tab. 8: Ztráta organické hmoty v závislosti na vlastnostech půdy

Ze souhrnné tabulky výsledků (tab. 8) je patrné, že při použitých simulacích měla největší vliv na ztrátu organické hmoty zrnitost a to zejména zastoupení nejjemnějších částic menších než 0,002 mm při druhé simulaci. Korelační koeficient vyšel 0,71 což značí středně silnou lineární závislost a koeficient determinace vysvětluje variabilitu obsahu zrn <0,002 mm z 50,5 %.

Kromě zrnitosti se prokázala také závislost ztráty organické hmoty také na výšce povrchového odtoku a velikosti infiltrace. Korelační koeficient u povrchového

odtoku vyšel v první simulaci 0,48 což značí středně silnou lineární závislost a v druhé simulaci 0,37, což značí slabou lineární závislost. U velikosti infiltrace se prokázala středně silná nepřímá závislost v první simulaci s korelačním koeficientem -0,42 a ve druhé simulaci slabá nepřímá závislost s korelačním koeficientem 0,34.

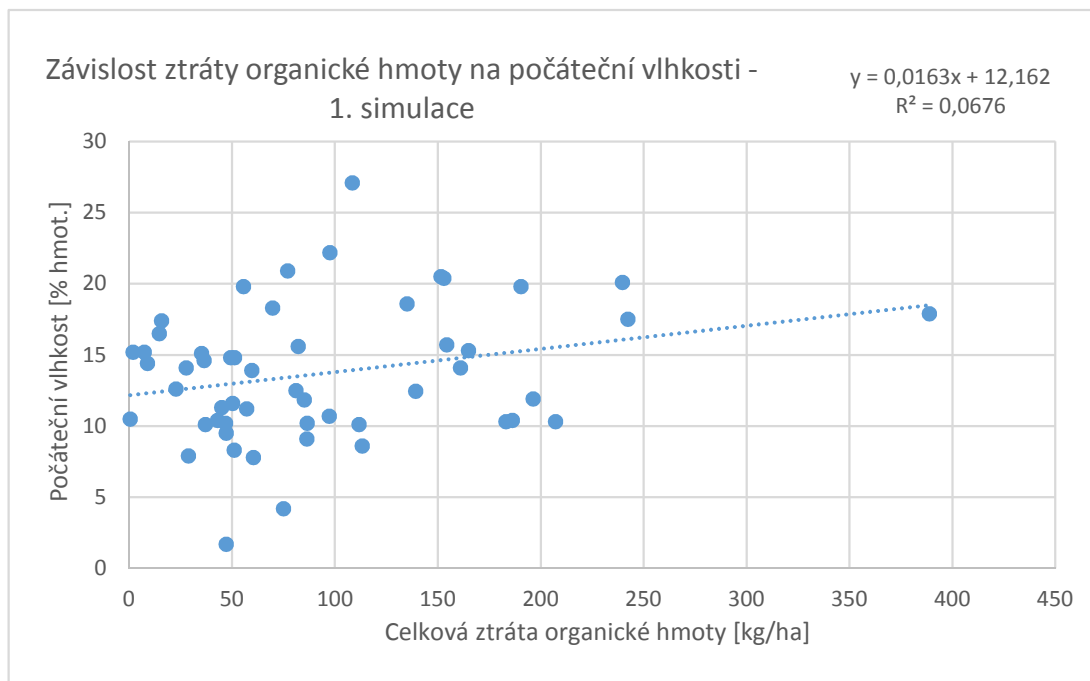
Středně silná závislost se prokázala také u druhé simulace pro závislost na počáteční vlhkosti. U druhé simulace bylo počítáno s hodnotou vlhkosti po 1. simulaci. Korelační koeficient vyšel u druhé simulace 0,40 což značí středně silnou závislost.

Naopak velmi slabé závislosti se projeví u sklonitosti svahu a koncentraci organické hmoty v půdě. Výsledky obou parametrů se pohybují na hraně korelačního koeficientu 0,20, což indikuje velmi slabou závislost. U koncentrace organické hmoty v první simulaci je hodnota korelačního koeficientu 0,05 nejnižší ze všech hodnot. Dle této analýzy se dá tedy říci, že velikost ztráty organické hmoty má téměř nulovou závislost na koncentraci organické hmoty v půdě.

V následujících podkapitolách 5.1.1 až 5.1.11 jsou popsány jednotlivá hodnocení vypočtených závislostí ztráty organické hmoty (dále jen ZOH) na půdních vlastnostech. Slovní hodnocení je doplněno o grafické zpracování bodovými grafy, které obsahují koeficient determinace R^2 a spojnicí trendu.

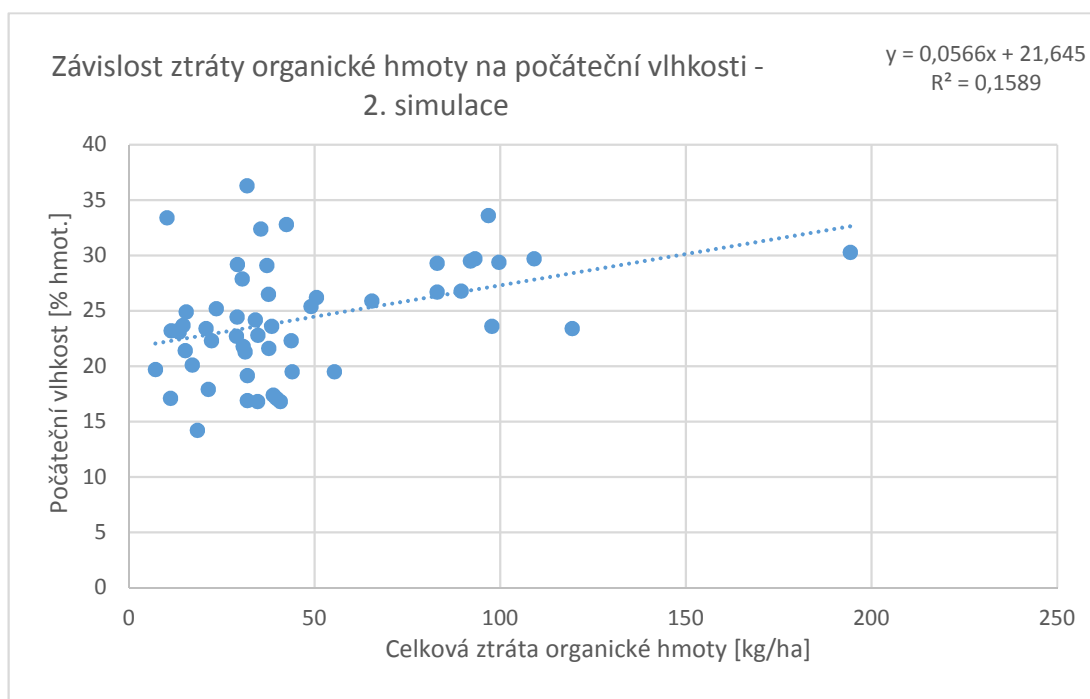
5.1.1 ZOH v závislosti na počáteční vlhkosti půdy

V první simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,260$ slabou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,068$ vysvětluje variabilitu míry počáteční vlhkosti půdy z 6,8 % na hladině významnosti $p=0,049$ (obr. 12).



Obr. 12: Závislost ztráty organické hmoty na počáteční vlhkosti – 1. simulace

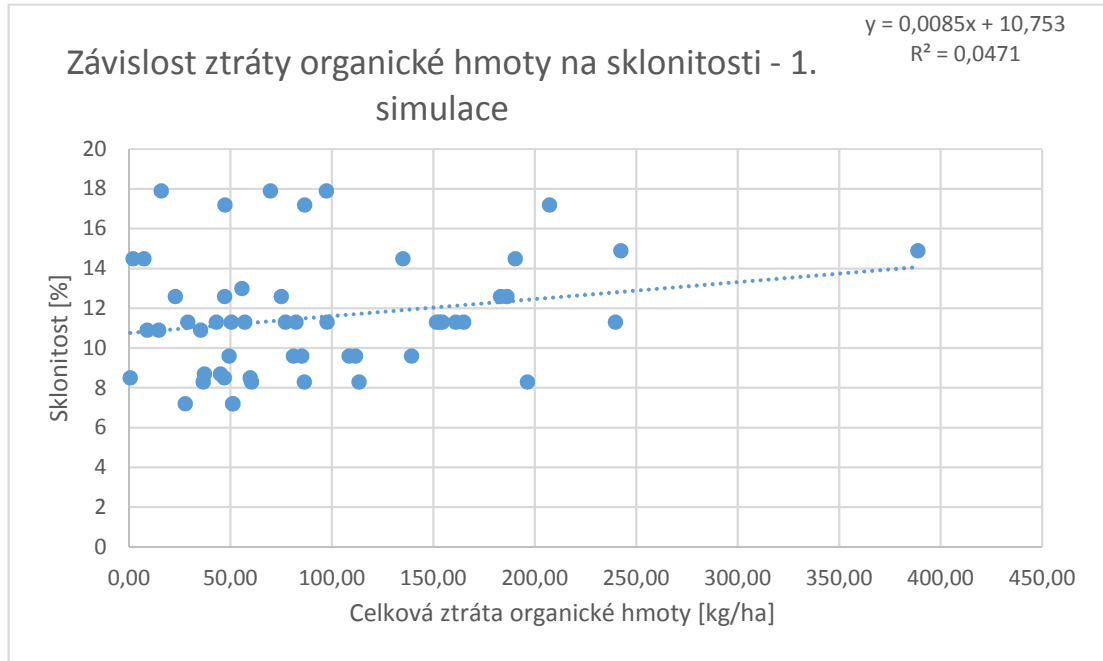
Ve druhé simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,399$ středně silnou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,159$ vysvětluje variabilitu míry počáteční vlhkosti půdy z 15,9 % na hladině významnosti $p=0,002$ (obr. 13).



Obr. 13: Závislost ztráty organické hmoty na počáteční vlhkosti – 2. simulace

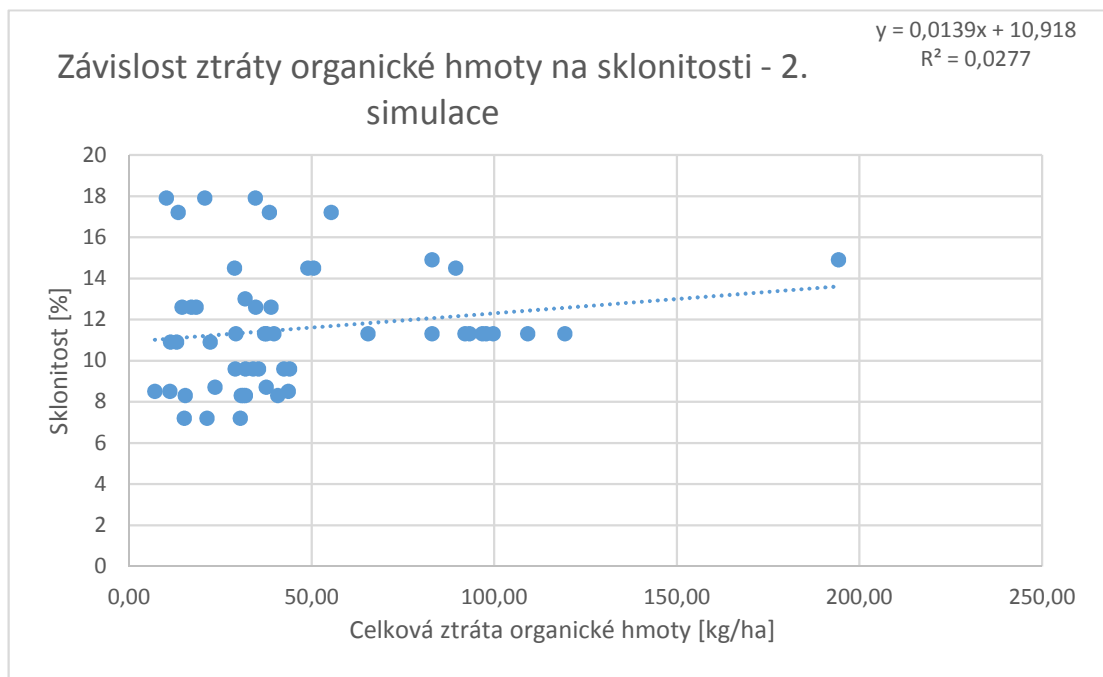
5.1.2 ZOH v závislosti na sklonitosti svahu

V první simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,212$ slabou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,047$ vysvětluje variabilitu míry sklonitosti svahu z 4,7 % na hladině významnosti $p=0,102$ (obr. 14).



Obr. 14: Závislost ztráty organické hmoty na sklonitosti – 1. simulace

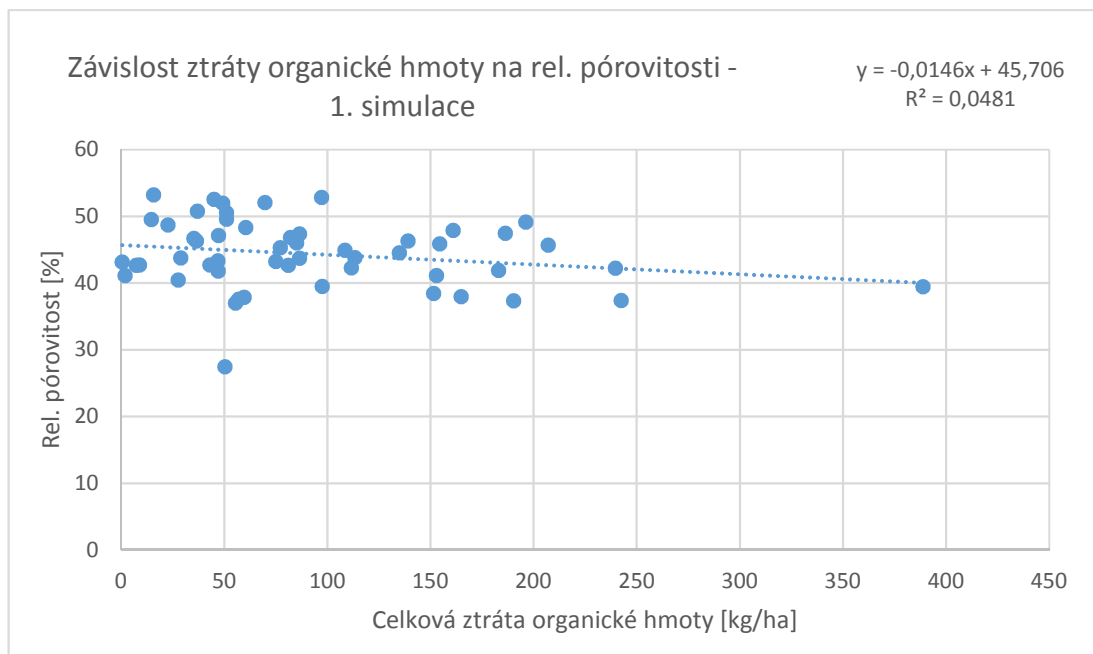
Ve druhé simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,166$ velmi slabou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,028$ vysvětluje variabilitu míry sklonitosti svahu z 2,8 % na hladině významnosti $p=0,212$ (obr. 15).



Obr. 15: Závislost ztráty organické hmoty na sklonitosti – 2. simulace

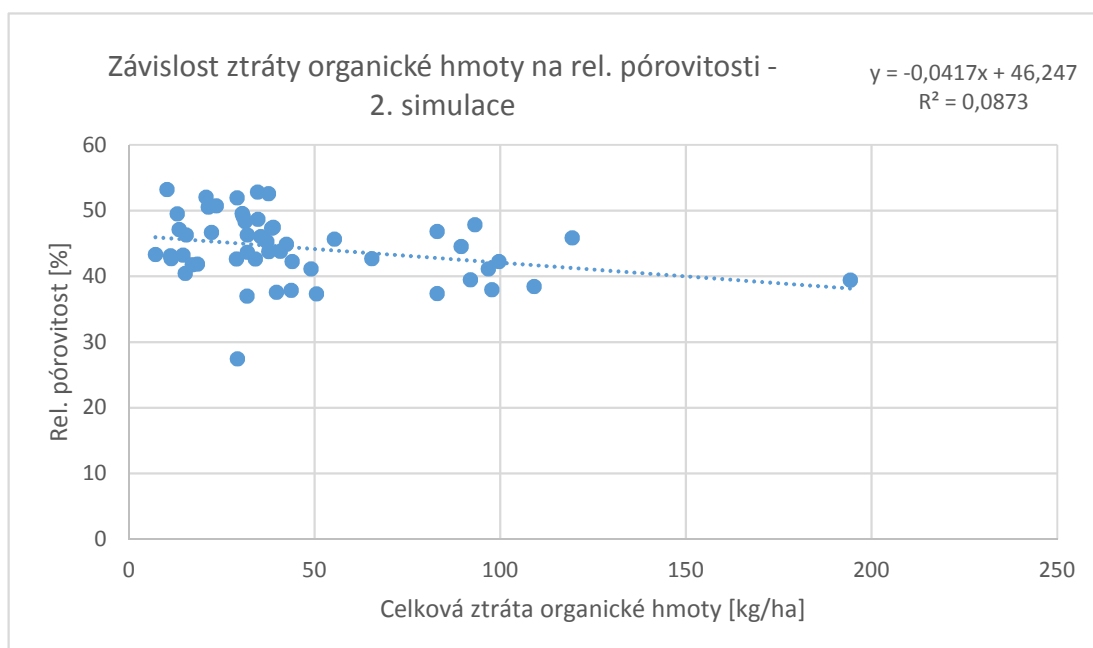
5.1.3 ZOH v závislosti na relativní pórovitosti půdy

V první simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=-0,219$ slabou nepřímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,048$ vysvětluje variabilitu míry relativní pórovitosti půdy z 4,8 % na hladině významnosti $p=0,098$ (obr. 16).



Obr. 16: Závislost ztráty organické hmoty na rel. pórovitosti – 1. simulace

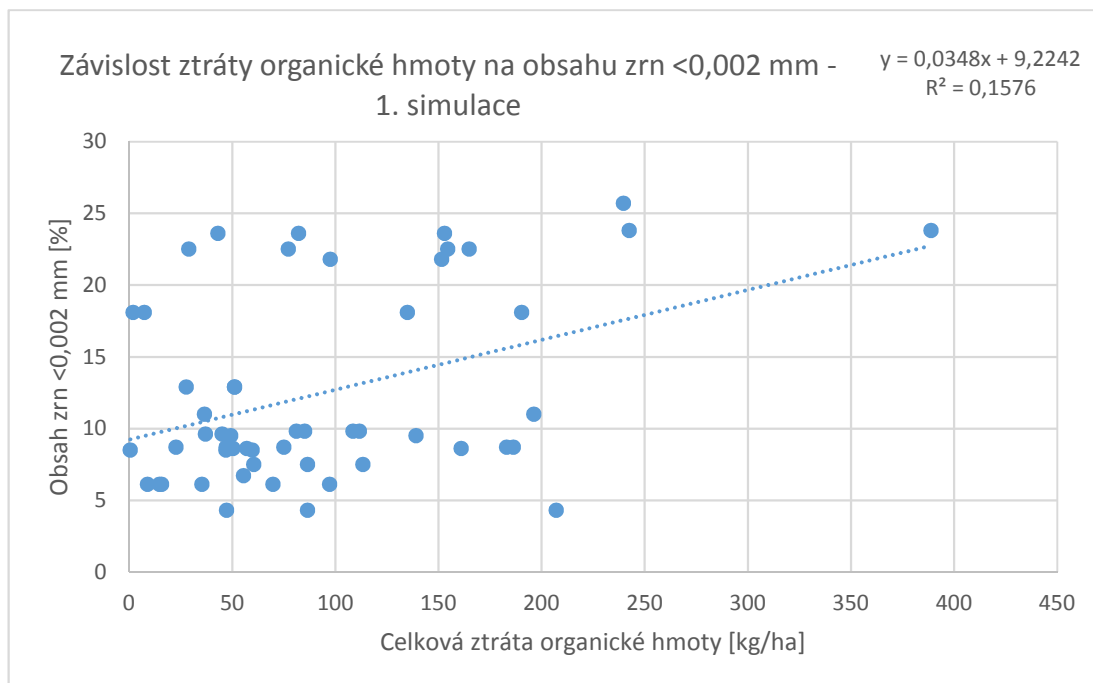
Ve druhé simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=-0,296$ slabou nepřímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,087$ vysvětluje variabilitu míry relativní pórovitosti půdy z 8,7 % na hladině významnosti $p=0,024$ (obr. 17).



Obr. 17: Závislost ztráty organické hmoty na rel. pórovitosti – 2. simulace

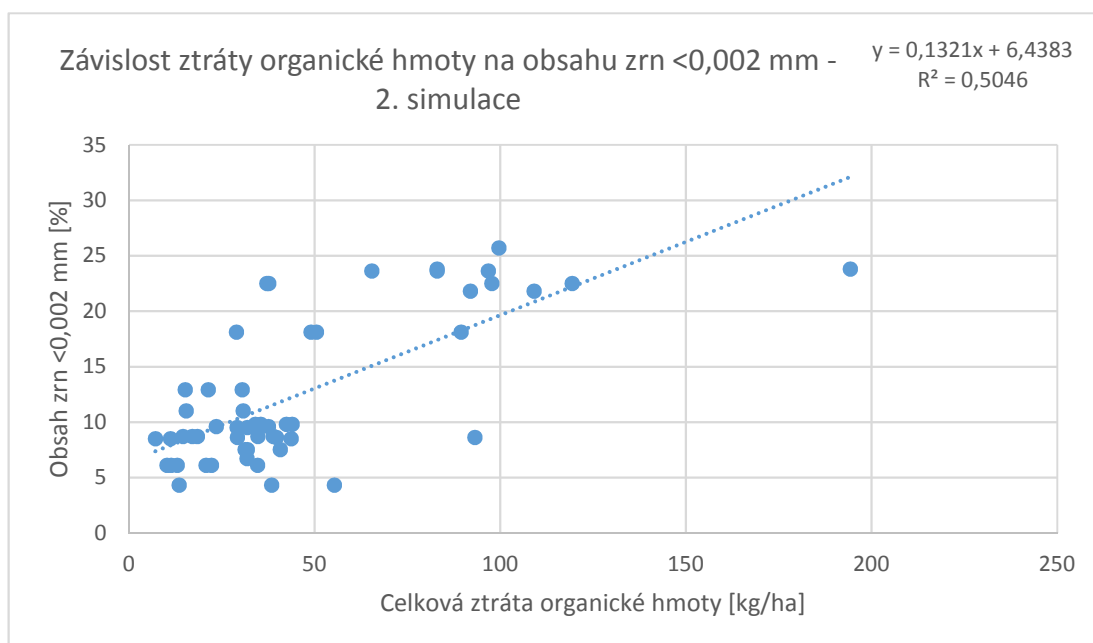
5.1.4 ZOH v závislosti na zrnitosti půdy (obsah zrn <0,002 mm)

V první simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,397$ středně silnou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,158$ vysvětluje variabilitu míry obsahu zrn <0,002 mm v půdě z 15,8 % na hladině významnosti $p=0,002$ (obr. 18).



Obr. 18: Závislost ztráty organické hmoty na obsahu zrn <0,002 mm - 1. simulace

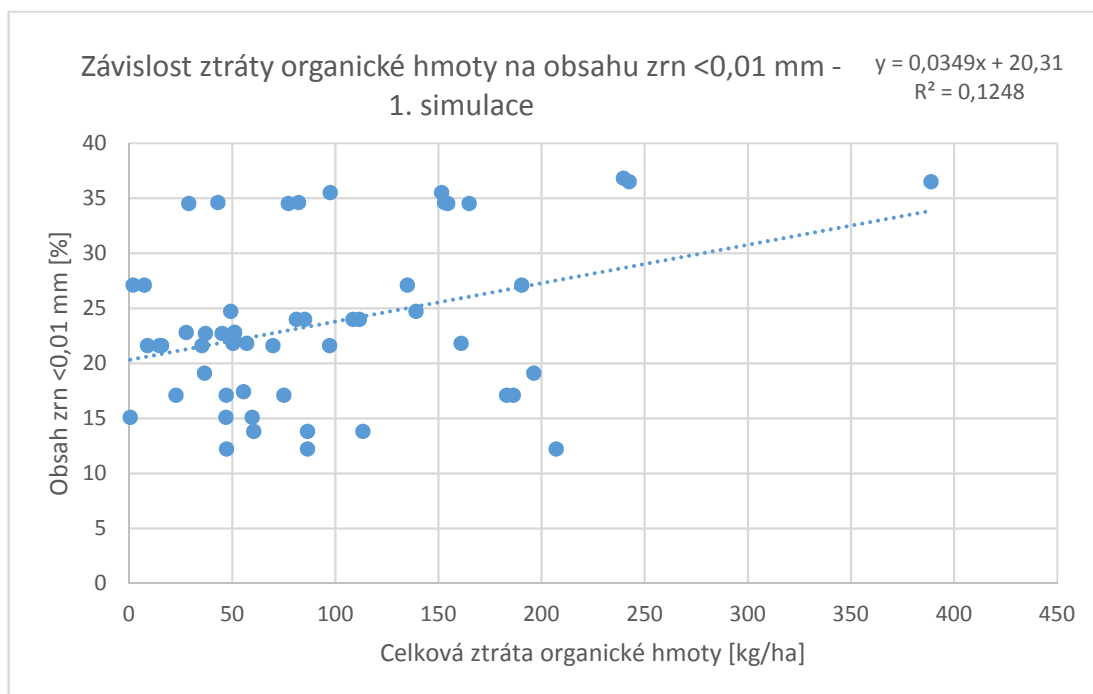
Ve druhé simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,710$ silnou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,505$ vysvětluje variabilitu míry obsahu zrn <0,002 mm v půdě z 50,5 % na hladině významnosti $p=0,000$ (obr. 19).



Obr. 19: Závislost ztráty organické hmoty na obsahu zrn <0,002 mm - 2. simulace

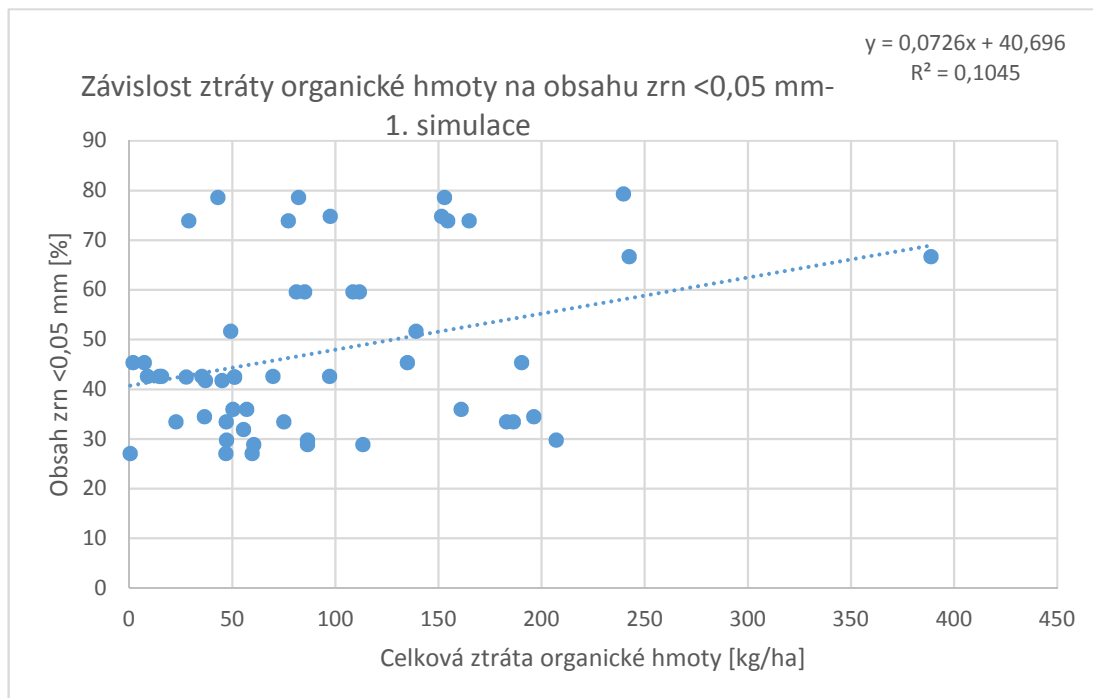
5.1.5 ZOH v závislosti na zrnitosti půdy (obsah zrn <0,01 mm)

V první simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,353$ slabou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,125$ vysvětluje variabilitu míry obsahu zrn <0,01 mm v půdě z 12,5 % na hladině významnosti $p=0,007$ (obr. 20).



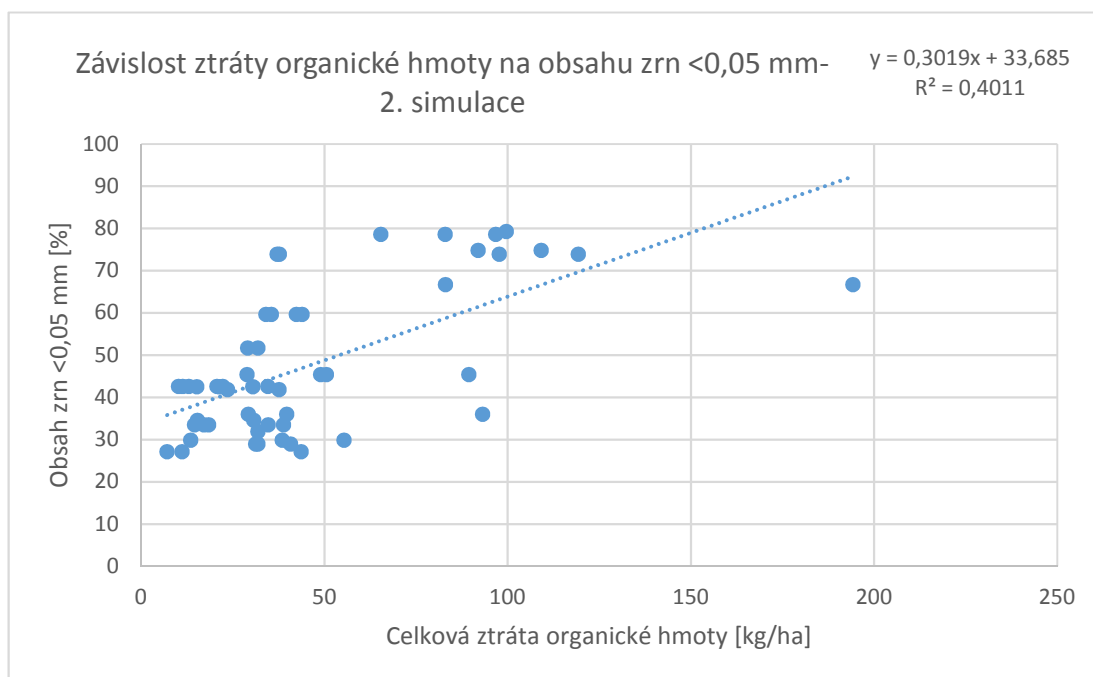
5.1.6 ZOH v závislosti na zrnitosti půdy (obsah zrn <0,05 mm)

V první simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,323$ slabou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,105$ vysvětluje variabilitu míry obsahu zrn <0,05 mm v půdě z 10,5 % na hladině významnosti $p=0,013$ (obr. 22).



Obr. 22: Závislost ztráty organické hmoty na obsahu zrn <0,05 mm - 1. simulace

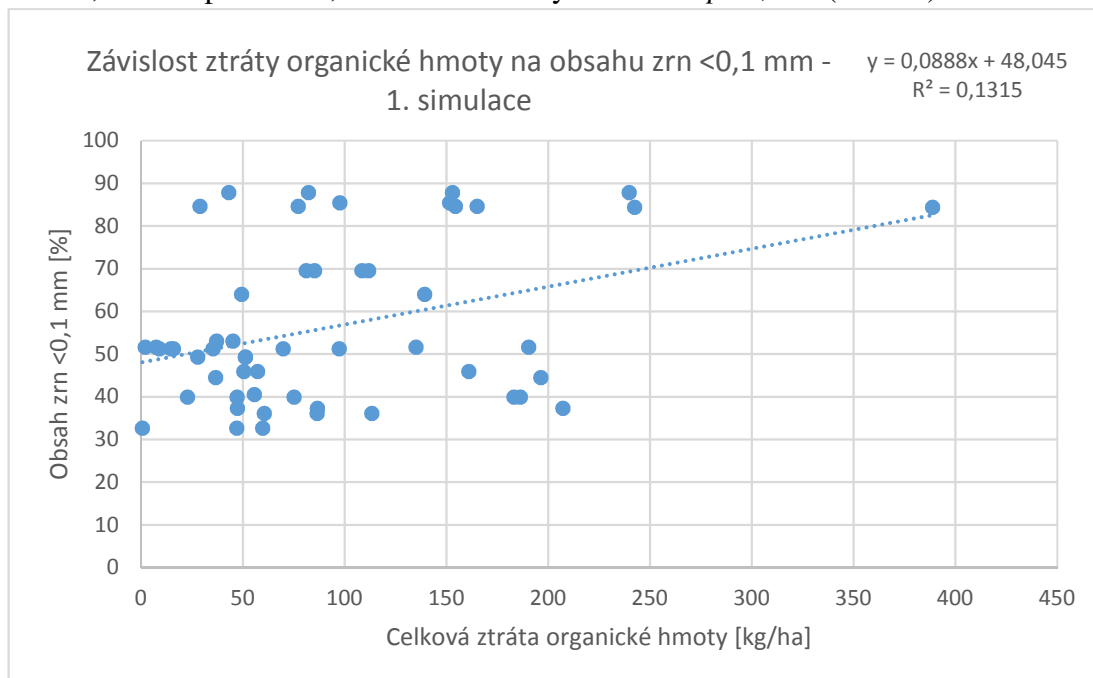
Ve druhé simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,633$ silnou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,401$ vysvětluje variabilitu míry obsahu zrn <0,05 mm v půdě z 40,1 % na hladině významnosti $p=0,000$ (obr. 23).



Obr. 23: Závislost ztráty organické hmoty na obsahu zrn <0,05 mm - 2. simulace

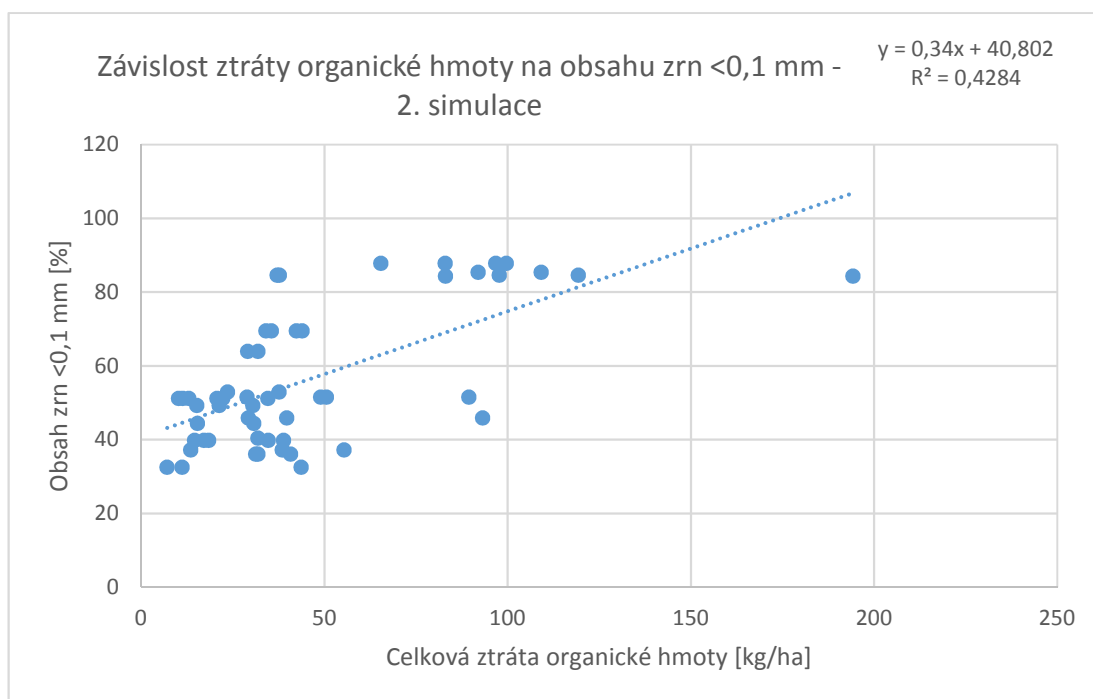
5.1.7 ZOH v závislosti na zrnitosti půdy (obsah zrn <0,1 mm)

V první simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,363$ slabou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,132$ vysvětluje variabilitu míry obsahu zrn <0,1 mm v půdě z 13,2 % na hladině významnosti $p=0,005$ (obr. 24).



Obr. 24: Závislost ztráty organické hmoty na obsahu zrn <0,1 mm - 1. simulace

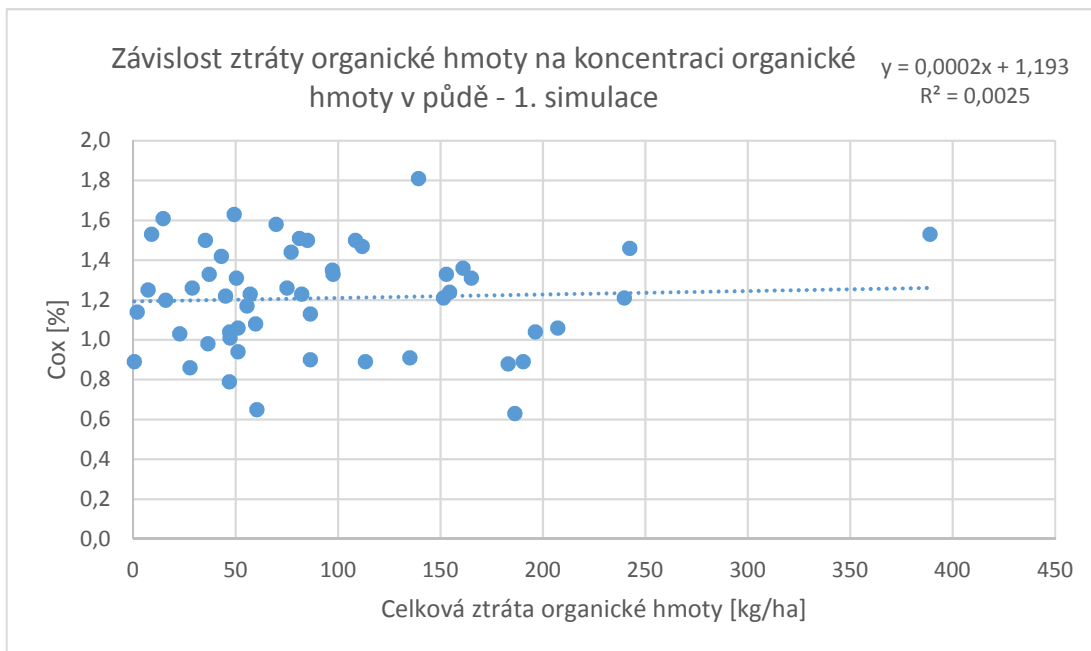
Ve druhé simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,654$ silnou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,429$ vysvětluje variabilitu míry obsahu zrn <0,1 mm v půdě z 42,9 % na hladině významnosti $p=0,000$ (obr. 25).



Obr. 25: Závislost ztráty organické hmoty na obsahu zrn <0,1 mm - 2. simulace

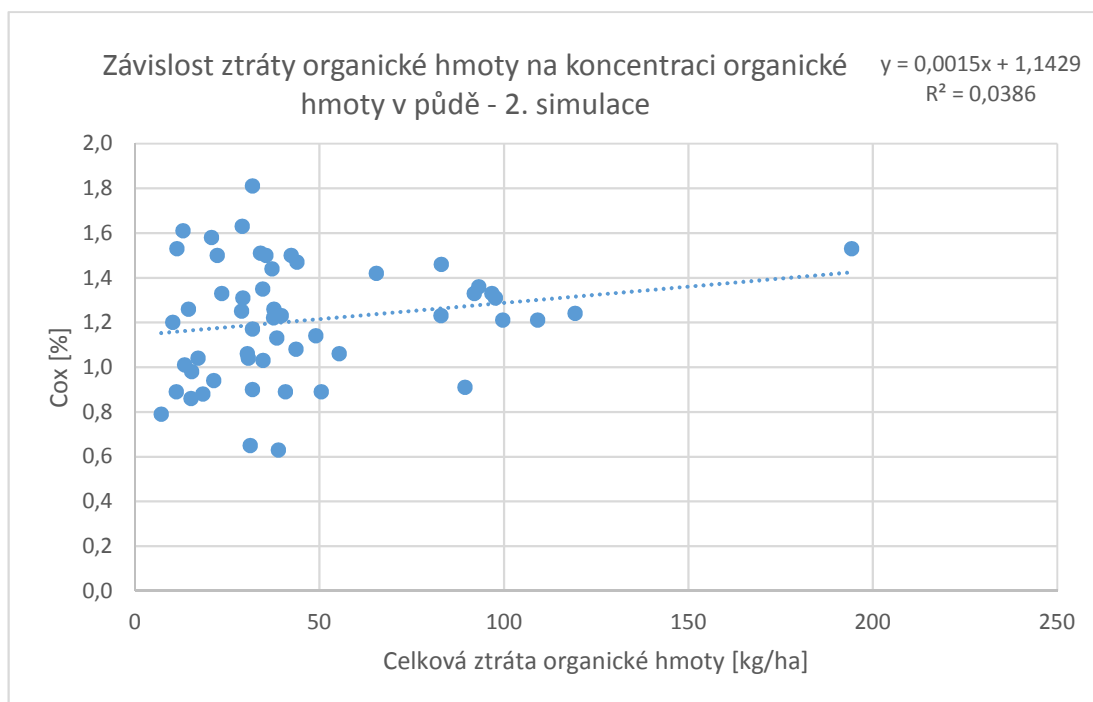
5.1.8 ZOH v závislosti na koncentraci organické hmoty v půdě

V první simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,050$ velmi slabou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,003$ vysvětluje variabilitu míry koncentrace org. hm. v půdě ze 3 % na hladině významnosti $p=0,710$ (obr. 26).



Obr. 26: Závislost ztráty organické hmoty na koncentraci org. hm. – 1. simulace

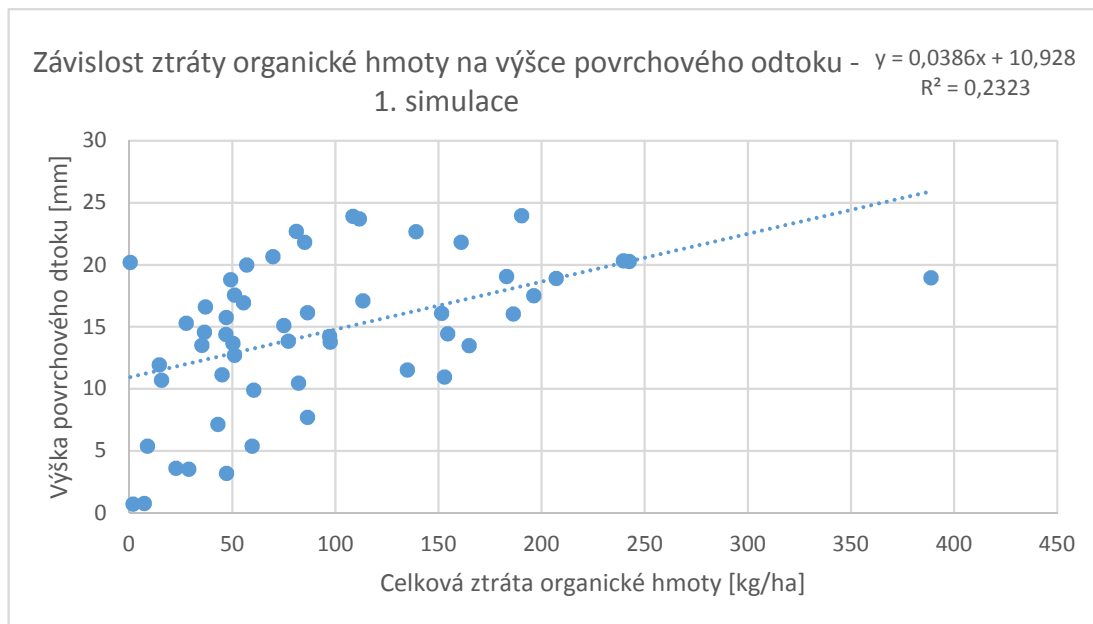
Ve druhé simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,197$ slabou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,039$ vysvětluje variabilitu míry koncentrace org. hm. v půdě ze 3,9 % na hladině významnosti $p=0,139$ (obr. 27).



Obr. 27: Závislost ztráty organické hmoty na koncentraci org. hm. – 2. simulace

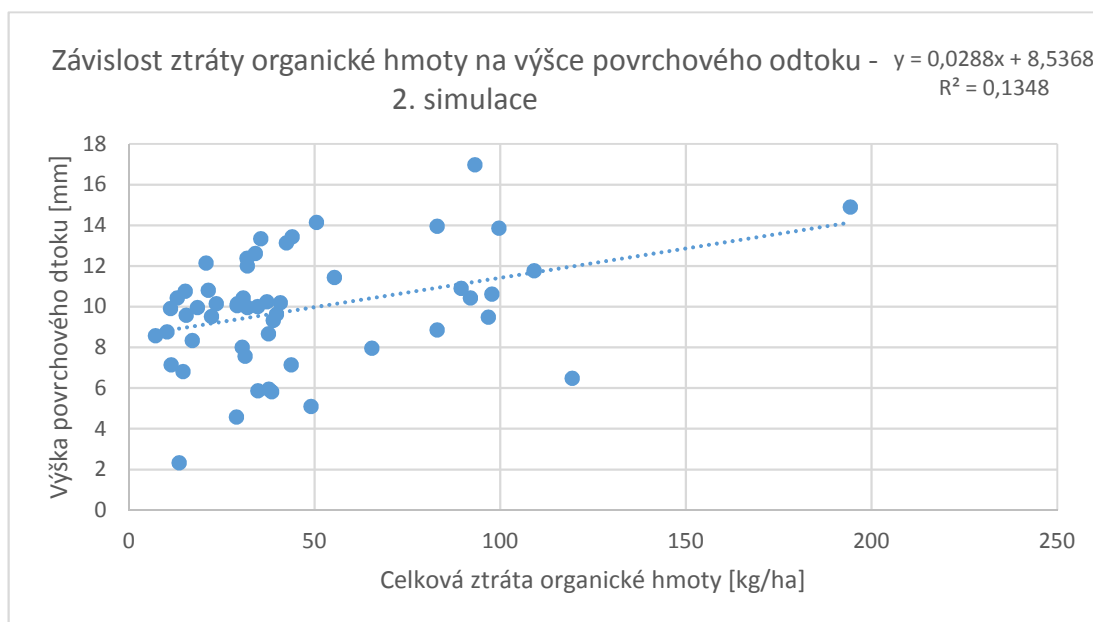
5.1.9 ZOH v závislosti na výšce povrchového odtoku

V první simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=0,482$ středně silnou přímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,232$ vysvětluje variabilitu výšky povrchového odtoku z 23,2 % na hladině významnosti $p=0,000$ (obr. 28).



Obr. 28: Závislost ztráty organické hmoty na výšce povrchového odtoku – 1. simulace

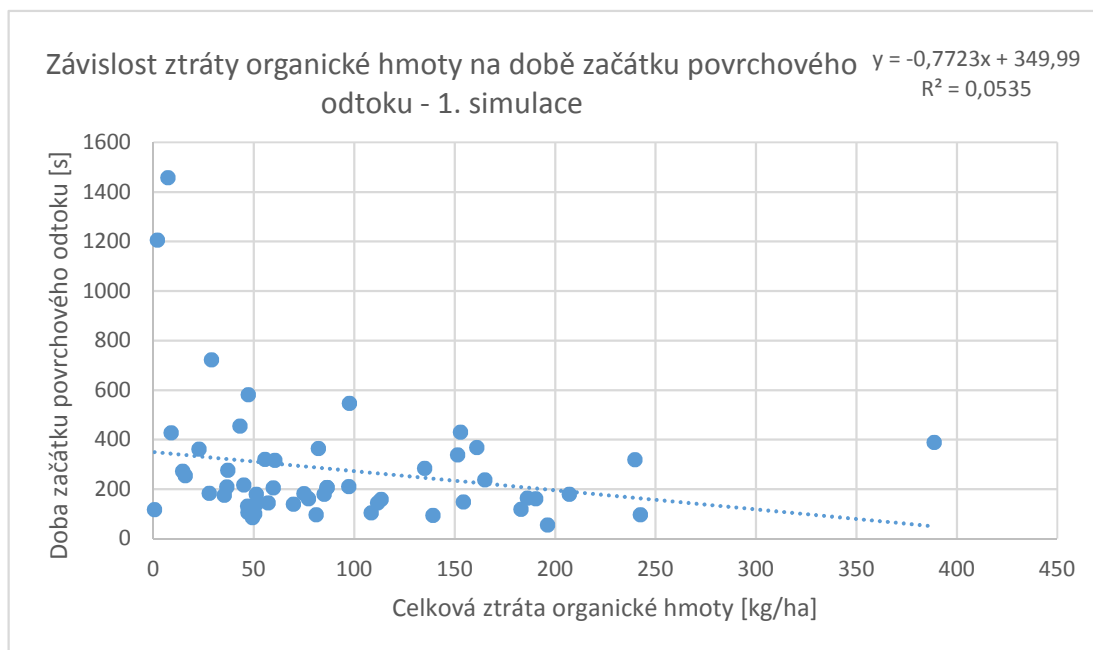
Ve druhé simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=-0,367$ slabou nepřímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,135$ vysvětluje variabilitu výšky povrchového odtoku z 13,5 % na hladině významnosti $p=0,005$ (obr. 29).



Obr. 29: Závislost ztráty organické hmoty na výšce povrchového odtoku – 2. simulace

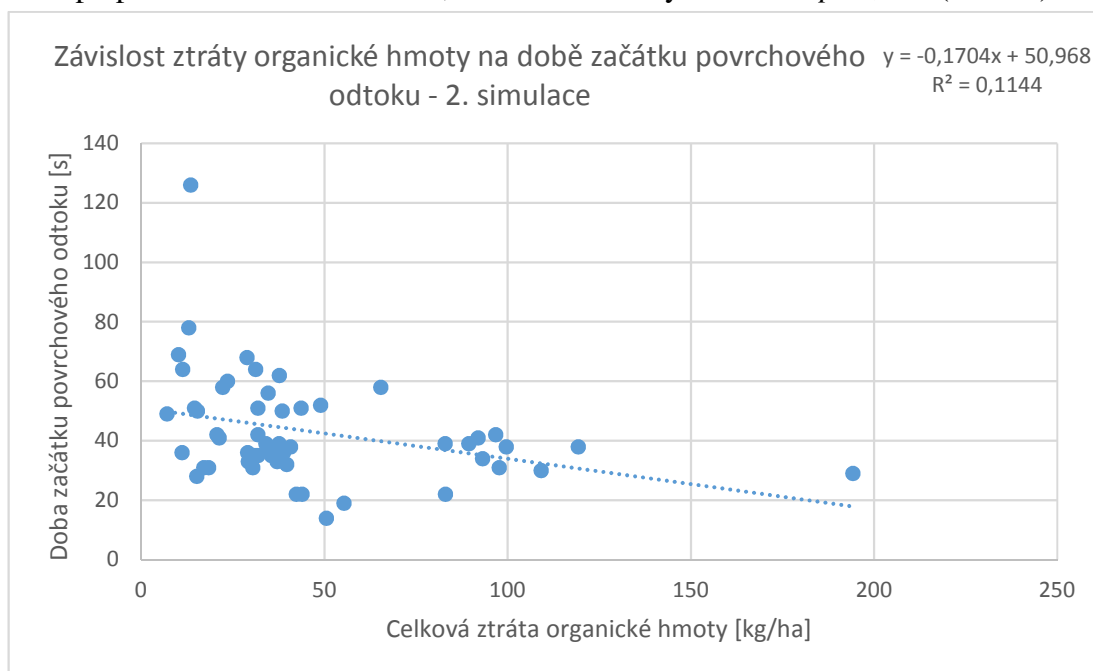
5.1.11 ZOH v závislosti na době nástupu povrchového odtoku

V první simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=-0,231$ slabou nepřímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,054$ vysvětluje variabilitu doby nástupu povrchového odtoku z 5,4 % na hladině významnosti $p=0,081$ (obr. 32).



Obr. 32: Závislost ztráty organické hmoty na době nástupu povrchového odtoku – 1. simulace

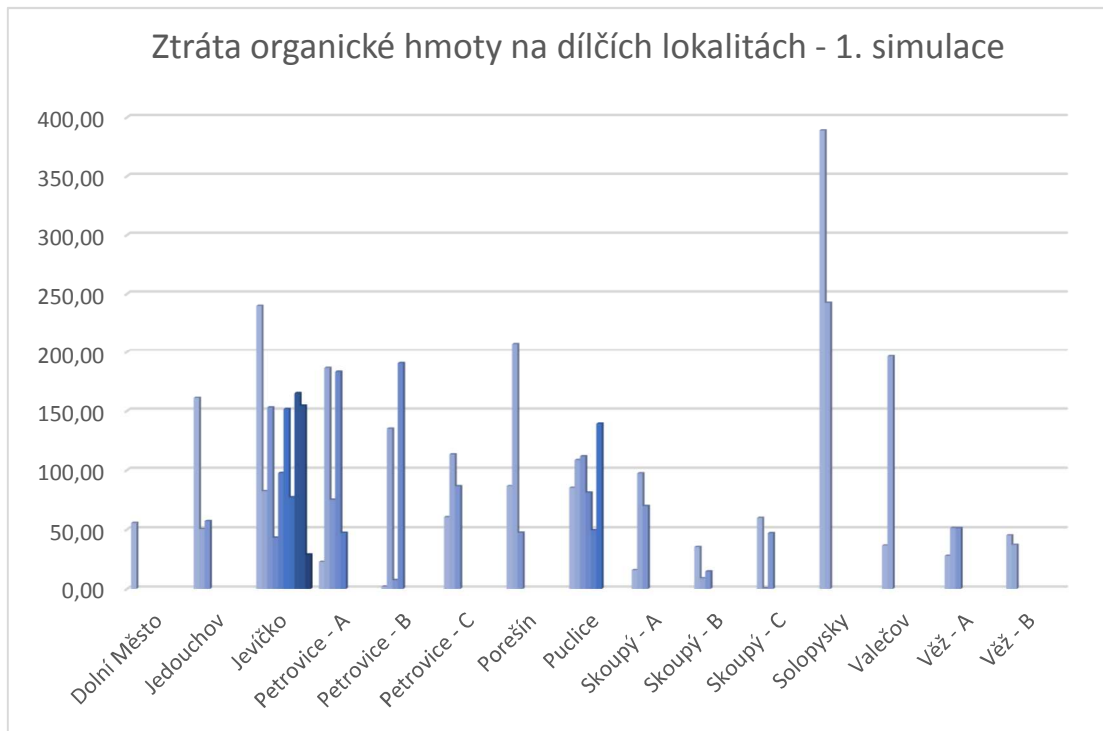
Ve druhé simulaci značí hodnota korelačního koeficientu $R=-0,338$ slabou nepřímou závislost. Koeficient determinace $R^2=0,114$ vysvětluje variabilitu doby nástupu povrchového odtoku z 11,4 % na hladině významnosti $p=0,009$ (obr. 33).



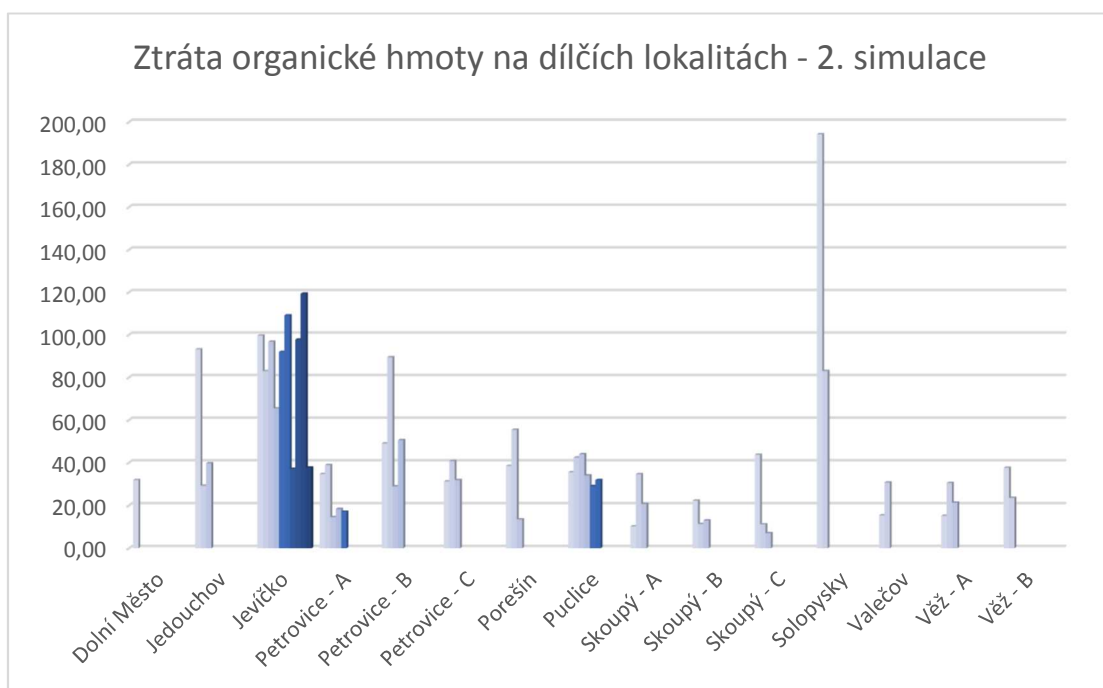
Obr. 33: Závislost ztráty organické hmoty na době nástupu povrchového odtoku – 2. simulace

5.1.12 Vizualizace ztráty organické hmoty na dílčích lokalitách

Následující grafy (obr. 34 a 35) znázorňují celkovou ztrátu organické hmoty na dílčích lokalitách pro každou simulaci zvlášť. Je patrné, že ztráty organické hmoty po prvním zadeštění byly větší, než ztráty po druhém zadeštění.



Obr. 34: Ztráta organické hmoty na dílčích lokalitách – 1. simulace



Obr. 35: Ztráta organické hmoty na dílčích lokalitách – 2. simulace

6 Diskuze

Korelační analýza prokázala silnější či slabší závislosti ztráty organické hmoty na vlastnostech půdy. Nejsilnější závislosti se prokázaly na zrnitosti půdy. Dle Nerušila a kol. (2015) je důvodem, že při erozi dochází k odnosu nejjemnějších půdních částic (půdních koloidů), které jsou schopné vázat živiny, z ornice pryč. Půdy s jemnou texturou, které obvykle obsahují více organické hmoty než hrubé půdy, lépe zadržují živiny a vodu, a tudíž vytvářejí dobré podmínky pro růst rostlin. Gay a kol (2009) píší, že hrubé půdy jsou lépe provzdušněny a obsah kyslíku v nich způsobuje rychlejší rozklad organické hmoty.

Slabá závislost se projevila také na počáteční vlhkosti. Gay a kol. (2009) píší, že čím je půda vlhčí, tím méně kyslíku je k dispozici pro rozklad organické hmoty, takže dochází k jejímu hromadění. Dá se tedy odvodit, že ztráta organické hmoty je přímo závislá na počáteční vlhkosti, záleží však na délce a intenzitě srážek. Za podmínek naší simulace se tato závislost projevila jako slabá.

Počáteční vlhkost má přímý vliv na míru infiltrace a výšku povrchového odtoku (Kutílek 1966). Není tedy překvapivé, že síla závislosti těchto tří vlastností je na podobné úrovni. Záporný korelační koeficient u velikosti infiltrace indikuje nepřímou závislost, tím pádem čím je vyšší míra infiltrace, tím je nižší úbytek organické hmoty.

Nejslabší závislosti z korelační analýzy vyšly u sklonitosti svahu a počáteční koncentraci organické hmoty. U počáteční koncentrace to může být dáno nízkou hodnotou variačního rozpětí, kdy se hodnoty koncentrace pohybují od 0,63 % do 1,81 %. U sklonitosti může být důvodem tak nízké závislosti opakování hodnot sklonitosti, jelikož na všech pozemcích probíhalo měření vícekrát a polní simulátor byl vždy umístěn na stejné ploše se stejnou hodnotou sklonitosti na dané lokalitě. V celém měření je tedy pouze 15 hodnot sklonitosti k 53 simulacím (30+15 min). Nízký vliv sklonitosti může být dán také tím, že na prudších svazích má povrchový odtok větší energii a unáší tudíž i hrubší částice půdy, které na sobě nemají navázanou organickou hmotu. Výsledná koncentrace organické hmoty ve smyvu je tedy nižší.

Výsledné hodnoty závislostí jasně indikují, že určité vlastnosti půdy mají neodvratitelný vliv na úbytek organické hmoty. U půdních vlastností, kde nebyly

výsledky příznivé, je tato závislost buď méně významná, nebo by bylo potřeba větší variace naměřených dat.

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit vliv půdních vlastností na úbytek organické hmoty v důsledku vodní eroze. Byla prokázána přímá závislost ztráty organické hmoty na zrnitosti, zejména na obsahu nejjemnějších půdních částic. To indikuje, že organická hmota je vázána na tyto jemné částice a tím pádem je erozí nejvíce ohrožena. Simulace byly prováděny na kypřeném černém úhoru bez vegetačního pokryvu, tudíž povrch půdy nebyl chráněn před dopadajícími kapkami deště. V případě, že by byl povrch půdy chráněn, byla by celková ztráta půdy a v ní obsažené organické hmoty nižší. Je tedy žádoucí, nenechávat povrch půdy nechráněn. Protierozní ochraně napomáhá například ponechání posklizňových zbytků na ornici.

Ochranné vlivy vegetace se liší dle jejich vzrůstu či pěstebních procesů. Nejmenší ochranný vliv mají širokořádkové plodiny. Ochranný faktor u širokořádkových plodin se dá zvýšit způsobem jejich obdělávání či jinými agrotechnickými opatřeními.

Pěstování zemědělských plodin vrací do půdy méně organické hmoty než přirozená vegetace, je tedy nutné zemědělské plochy obohacovat o organickou hmotu pravidelným organickým hnojením (kompost, digestát, statková hnojiva), zaoráváním rostlinných zbytků po sklizni či cíleným pěstováním meziplodin.

Erozí degradovaná a dehumifikovaná půda hůře odolává extrémním výkyvům počasí. Organická hmota přispívá k lepšímu koloběhu prvků v půdě, podporuje biologickou činnost a zlepšuje fyzikální stav půdy. Správné hospodaření s organickou hmotou v půdě je klíčové pro udržitelný rozvoj zemědělství.

8 Literatura

- Badalíková B. *Organická hmota, meziplodiny, fyzikální vlastnosti půdy*. Výzkumný ústav pícninářský, 2019.
- Bartošáková K. a Vlasák J. *Pozemkové úpravy*. Praha: ČVUT, 2007.
- Blanco H. a Lal R. *Principles of soil conservation and management*. Ohio: Springer Science + Business Media B.V., 2008.
- Brady N. C. a Weil R. R. *The nature and properties of soils*. New Jersey: Pearson Education, 2002.
- Brychta J. a Janeček M. „Evaluation of discrepancies in spatial distribution of rainfall erosivity in the Czech Republic caused by different approaches using GIS and geostatistical tools.“ *Soil & Water Res*, 12 2017: 117 - 127.
- Burian Z., Váchal J., Němec J., Hladík J. *Pozemkové úpravy*. Praha: Consult Praha, 2011.
- Cablík J. a Jůva K. *Protierozní ochrana půdy*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1963.
- Černý J., Balík J., Kulhánek M., Sedlář O., *Organická hmota v půdě, její obsah a význam*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019.
- Dostál T., Váška J., Vrána K., Klik A. *Vodní eroze*. Praha: Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulty stavební, ČVUT, 1996.
- Dufková J. *Krajinné inženýrství*. Brno: Mendelova zemědělská univerzita, 2007.
- Dumas P., Printemps J., Mangeas M., Luneau G. *Developing erosion models for integrated coastal zone management: A case study of The New Caledonia west coast*. *Marine Pollution Bulletin* 61, 2010: 519 - 529.
- Evans J. D. *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. Pacific Grove: Brooks/cole Publishing Company, 1996.
- Favis-Mortlock D. a Mullan D. *Soil erosion by water under future climate change. Soil hydrology, Land use and Agriculture: Measurement and Modelling*. 2005: 384 - 414
- Floor A. J. *Soil geology* (online) [cit. 2020.05.18], dostupné z: www.seafriends.org.nz/enviro/soil/geosoil.htm. 2000.
- Gay S., Louwagie G., Sammeth F., a kol. *Final report on the project Sustainable agriculture and soil conservation (SoCo)*. Sevilla: JRC Working Papers, 2009.
- Holý M. *Protierozní ochrana*. Praha: SNTL, 1978.
- Holý M. *Eroze a životní prostředí*. Praha: ČVUT, 1994.

- Holý M, Dvořák P., Hálek V., Šoltész J. *Odvodňovací stavby*. Praha: Nakladatelství technické literatury jako společné vydání s n. p. Alfa,, 1984.
- Horník S. *Fyzická geografie*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1986.
- Hůla J, Procházková B. a kol. *Minimalizace zpracování půdy*. Praha: Profi Press, 2008.
- Jakubíková A. a Váška J. „RUSLE - modernizovaný postup stanovení ohroženosti půd vodní erozí.“ *Soil and Water*, 2005: 36-46.
- Janeček M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, 2002.
- Janeček M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí. 2*. Praha: IVS, 2005.
- Janeček M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy - metodika*. Praha: VUMOP, 2007.
- Janeček M. a kol. *Základy erodologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008.
- Janeček M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. Praha: Powerprint, 2012.
- Janeček, M., Květoň V., Kubátová E. a Kobzová D. „Values of rainfall erosivity factor for the Czech republic.“ *Journal of Hydrology and Hydromechanic* 61, 2013: 97-102.
- Jarošek , R. „Protipovodňová a protierozní opatření.“ *Zpravodaj Ekozemědělci přírodě*, č. 3 (2010): 18.
- Jeřábková, J. „Proč je důležitá organická hmota v půdě.“ *Biom*, 2019.
- Kincl D. a kol. *Půdoochranné technologie pro pěstování chmelu. Certifikovaná metodika*. Praha: VÚMOP, 2018.
- Kolář L., Kužel S., Horáček J., Čechová V., Borová-Batt J., Peterka J. „Labile fractions of soil organic matter, their quantity and quality.“ *Plans soil and environment*, č. 55(6) (2009): 245-251.
- Kovaříček P., Hůla J., Vlášková M., Stehlík M. *Organická hmota zvyšuje bioaktivitu a zadržování vody v půdě*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky v.v.i., 2017.
- Krešl J. *Hydrologie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2001.
- Kubát J., Cerhanová D., Mikanová O., Šimon T. *Metodika hodnocení množství a kvality organické hmoty v orných půdách*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby v.v.i., 2008.
- Kutílek, M. *Vodohospodářská pedologie I*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966.
- Lacková E. *Hodnocení funkčního potenciálu antropogenně ovlivněných území*. Ostrava: Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, 2015.

- Lal R. „Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality.“ *Critical reviews in plant sciences*, 17(4) 1998: 319 - 464.
- Lal R. „Soil degradation by erosion.“ *Land Degradation and development* 12, č. 6. 2001: 519-539.
- Lou H, Yang S., Zhao Ch., Wang Z. a kol. „Using a nitrogen-phosphorus ratio to identify phosphorus risk factors and their spatial heterogeneity in an agricultural area.“ *Catena*, 2016: 426-436.
- Lu H., Moran C., Prosser I. a Sivapalan M. „Modelling sediment delivery ratio based.“ *Complexity and Integrated Resources Management. Transactions of the 2nd Biennial Meeting of the iEMSs (International Environmentl Modelling and Software Society.*, 2004: 1117 - 1122.
- Mazín V. A., Uhlířová J. a kol. *Metodika studie širších územních vazeb ochrany půdy a vody v komplexních pozemkových úpravách*. Praha: VÚMOP, 2005.
- Morgan R. P. C. *Soil erosion and conservation*. 3rd. Blackwell Science Ltd., 2005.
- MZe. *Protierozní chrana - nové technologie v ochraně půdy před vodní erozí*. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 1995.
- MZe. *Výroční hodnotící zpráva o programu HRDP ČR za rok 2004*. Ministerstvo zemědělství ČR, 2004.
- MZe. *Příručka ochrany proti vodní erozi*. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 2011.
- MZe. *Studie zabývající se základní problematikou eroze půdy a jejím současným stavem v Ústeckém a Jihomoravském kraji České republiky*. Praha: Sowac, 2013.
- MZe. *Situační a výhledová zpráva - Půda*. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 2018.
- Nerušil P., Kohoutek A., Odstrčilová V., Vach M., Javůrek M. a Stražil Z.. *Využití minimalizačních a půdoochranných technologií pro snížení účinků vodní eroze na obdělávaných půdách - Certifikovaná metodika pro praxi*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2015.
- Novák P. *Produkční a mimoprodukční funkce půdy a jejich ochrana*. Úroda.cz. (online) [cit. 2020-04-12]. 2014, dostupné z <https://www.uroda.cz/produkcni-a-mimoprodukni-funkce-pudy-a-jeji-ochrana/>, 2014
- Novotný I., a kol. *Příručka ochrany proti vodní erozi*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2014.
- Novotný I., a kol. *Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy*. Praha: VÚMOP a MZe, 2017.
- Osman K. T. *Soil degradation, conservation and remediation: Certifikovaná metodika*. 1. vydání. Dordrecht: Springer. 2013.
- Pasák V. a kol. *Ochrana půd před vodní erozí*. Praha: SZN, 1984.

- Pavlík T. a Dušek L.. *Biostatistika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2011.
- Pavlu L. *Základy pedologie a ochrany půdy*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2018.
- Podhrázská J. a Dufková J. *Protierozní ochrana půdy*. Brno: Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2005.
- Renard K. G., Foster G. R., Weesies G. A., Mccool D. K. a Yoder D. C. *Predictiong Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Sv. 703. Washington D.C.: USDA-ARS, 1997.
- Sáňka M. a Materna J. *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2004.
- Semančíková E. a kol. *Monitorování a vyhodnocení vlivu agroenvironmentálních opatření HRDP na erozi půdy a retenční schopnost území - Závěrečná zpráva*. BF JU, České Budějovice, 2006.
- Schwertmann U., Vogel W. a Kainz M. *Bodenerosion durch Wasser*. Stuttgart: Ulmer GmbH, 1987.
- Sklenička P. *Základy krajinného plánování*. Praha: Nakladatelství Naděžda Skleničková, 2003.
- Sparks D. L. *Environmental Soil Chemistry*. Burlington: Elsevier, 2003.
- Swift R. S. *Organic matter characterization*. American Society of Agronomy, 1996.
- Šantrůčková, H. *Základy ekologie půdy*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta, 2014.
- Šarapatka B. a kol. *Agroekologie*. Olomouc: Bioinstitut, 2010.
- Šimek M., Elhottová D. a Pižl V. *Živá půda: výzkumný program Rozmanitost života a zdraví ekosystémů*. Praha: Akademie věd ČR, 2015.
- Štěpánek M. a Červenka R. *Problémy eutrofizace v praxi*. Praha: Avicentrum, 1947.
- Tan K. H. *Soil Sampling, Preparation and Analysis*. 2nd. Boca Raton: CRC Press, 2003.
- Tlapák V., Šálek J. a Legát V. *Voda v zemědělské krajině*. Praha: Zemědělské nakladatelství Brázda, 1992.
- Toman F., Sanetrník J. a Filip J. „The influence of climatic conditions on the factor of erosion efficiency of torrential rains.“ *Proc. Agro-meteorological Conference 93*, 25-26. 11 1993: 67-69.
- Urban J., Šarapatka B. a kol. *Ekologické zemědělství*. Praha: MŽP, 2003.

- Vaezi A. R., Sadeghi S. H. R., Bahrami H. A., Mahdian M. H. „Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran.“ *Geomorphology* 97, 2008: 414 - 423.
- Vlasák J. a Bartošková K. *Pozemkové úpravy*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2009.
- Vrána K. *Krajinné inženýrství*. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998.
- Walksman S. A. *Humus origin, Chemical Composition and Importance in Nature*. Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1936.
- Wall G., Baldwin C. S., Shelton I. J. *Soil Erosion - Causes and Effects*. Ontario: Ministry of agriculture, 1987.
- Williams J. R. a Berndt H. D. „Sediment yield prediction based on watershed hydrology.“ *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 20, 1977: 1100-1104.
- Wischmeier W. H. a Smith D. D. *Predicting rainfall erosion losses - A guide book to conservation planning*. Washington: US dept. of Agriculture, 1978.
- Zachar D. *Erózia pôdy*. Bratislava: Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, 1970.

