

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

Katedra biotechnických úprav krajiny



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Úbytek půdní organické hmoty vlivem eroze**

Influence of erosion to soil organic matter decline

Autor práce: Bc. Šárka Čermáková  
Vedoucí práce: Ing. Jan Vopravil, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Šárka Čermáková

Environmentální vědy  
Aplikovaná ekologie

Název práce

**Úbytek půdní organické hmoty vlivem eroze**

Název anglicky

**Influence of erosion to soil organic matter decline**

---

### **Cíle práce**

Cílem práce je vyhodnocení ztrát organické hmoty v půdě vlivem eroze z terénních měření simulátorem deště.

### **Metodika**

Budou zpracována data obsahu organické hmoty v půdě a sedimentu z měření simulátorem deště VÚMOP v.v.i. Tyto výsledky budou statisticky zpracovány a interpretovány v souvislosti se zrnitostí půdy, sklonem svahu a agrotechnikou zpracování půdy.

**Doporučený rozsah práce**

50 stran

**Klíčová slova**

eroze, půdní organická hmota, sediment, zpracování půdy

---

**Doporučené zdroje informací**

- DUMBROVSKÝ, M. – MEZERA, J. – STŘÍTECKÝ, L. *Metodický návod pro vypracování návrhů pozemkových úprav*. Praha: Česká komora pro pozemkové úpravy, 2004.
- JANEČEK, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Základy erodologie*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2008. ISBN 978-80-213-1842-7.
- JANEČEK, M. *Nové směry v protierozní ochraně půdy : (studijní zpráva) = New trends in soil erosion control : (review)*. Praha: ÚZPI, 1999. ISBN 80-7271-041-9.
- JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí : metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2007. ISBN 978-80-254-0973-2.
- JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, 2002. ISBN 80-85866-86-2.
- JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, 2005. ISBN 80-86642-38-0.
- 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.
- VOPRAVIL, J. – VOPRAVIL, J. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Příspěvek ke stanovení erodovatelnosti půdy v podmínkách České republiky [rukopis]*. Disertační práce. Praha: 2006.
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2020/21 ZS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Jan Vopravil, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra biotechnických úprav krajiny

**Konzultant**

Ing. David Kincl

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2019

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2019

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 25. 10. 2020

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Úbytek půdní organické hmoty vlivem eroze“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 1. 12. 2020

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Janu Vopravilovi, Ph.D. za jeho ochotu, trpělivost a vstřícnost při vedení této práce, za konzultace a za poskytnutí literatury. Dále bych ráda poděkovala své rodině za podporu a motivaci při tvorbě mé práce.

## Abstrakt

Předmětem této práce bylo zjistit, jaké faktory mají vliv na celkovou ztrátu půdy větrnou erozí a zjistit množství uhlíku v sedimentu zahrnující i uhlík tvořený primární odumřelou organickou hmotou. K měření množství odvátného sedimentu byl použit speciální přístroj – mobilní simulátor větru.

Celkem bylo uskutečněno 6 měření na různých lokalitách s odlišnou půdou, která byla připravena k setí po obilovině. Průměrně došlo ke ztrátě 286 kg/ha půdy, nejvyšší ztráta půdy byla zaznamenána na písčité půdě v oblasti Jižní Moravy, výrazná ztráta byla zaznamenána i na středně těžkých půdách. V půdě bylo přibližně 1,5 % množství uhlíku, v sedimentu ve formě uhlíku navázaného na částice byly 3 %, v sedimentu ve formě primární organiky bylo 9 %, dohromady byl sediment tvořen průměrně z 11 % uhlíkem. Zároveň bylo průměrně odvátno 7,6 kg/ha organické hmoty a 8,6 kg/ha primární organiky. Ztráta půdy (kg/ha) negativně korelovala s množstvím Cox v půdě, s hodnotami MWD a s obsahem částic <0,01 mm. Na ztrátu půdy měl prokazatelně vliv i půdní druh, typ a suché, teplé klima. Bylo zjištěno, že je vhodné měřit na přirozeném povrchu (varianta I. – Xa) oproti měření na upraveném povrchu (varianta II. – Xb). Přínosem jsou tato konkrétní představitelná data o ztrátě půdy a organiky větrnou erozí, ze kterých vyplývá, že se větrná eroze nesmí podcenit, je nutné pečovat o půdu a vytvářet vhodná protierozní opatření.

**Klíčová slova:** eroze, půdní organická hmota, sediment, zpracování půdy

## **Abstract**

The subject of this work was to determine what factors affect the total soil loss by wind erosion and to determine the amount of carbon in the sediment, including carbon formed by primary dead organic matter. A special device - a mobile wind simulator - was used to measure the amount of sediment removed.

A total of 6 measurements were made at different locations with different soil, which was ready for sowing after cereals. On average, there was a loss of 286 kg/ha of land, the highest loss of soil was recorded on sandy soil in the area of South Moravia, a significant loss was also recorded in medium-heavy soils. Approximately 1.5 % of the amount of carbon was present in the soil, 3 % in the sediment in the form of carbon bound to the particles, 9 % in the sediment in the form of primary organic matter, together the sediment was on average 11 % carbon. At the same time, an average of 7.6 kg/ha of organic matter and 8.6 kg/ha of primary organic matter were removed. Soil loss (kg/ha) was negatively correlated with the amount of Cox in the soil, with MWD values, with a particle content <0.01 mm. Soil type, type and dry, warm climate were demonstrably influenced by soil loss. It was found that it is appropriate to measure on the natural surface (variant I. – Xa) compared to the measurement on the treated surface (variant II. – Xb). The benefits are these concrete imaginable data on the loss of soil and organics by wind erosion, which show that wind erosion must not be underestimated, it is necessary to care for the soil and create appropriate anti-erosion measures.

**Keywords:** erosion, soil organic matter, sediment, soil treatment

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Cíle diplomové práce.....</b>	<b>2</b>
<b>3 Půda a její charakteristika .....</b>	<b>3</b>
<b>4 Ohrožení půdy .....</b>	<b>4</b>
4.1 Acidifikace .....	5
4.2 Dehumifikace .....	6
4.3 Utužení .....	7
4.4 Zastavování území a suburbanizace.....	7
4.5 Kontaminace .....	8
4.6 Eroze .....	9
<b>5 Vodní eroze .....</b>	<b>11</b>
5.1 Definice .....	11
5.2 Třídění.....	11
5.2.1 Povrchová vodní eroze.....	11
5.2.2 Podpovrchová vodní eroze.....	12
5.3 Příčiny .....	12
5.4 Důsledky .....	13
5.5 Protierozní opatření.....	14
5.5.1 Opatření organizačního charakteru.....	15
5.5.2 Opatření agrotechnického charakteru .....	17
5.5.3 Opatření technického charakteru .....	19
<b>6 Větrná eroze.....</b>	<b>23</b>
6.1 Definice .....	23
6.2 Třídění.....	23
6.2.1 Deflace .....	23
6.2.2 Koraze.....	23
6.3 Příčiny .....	24
6.4 Důsledky .....	26
6.5 Protierozní opatření.....	27
6.5.1 Opatření organizačního charakteru.....	27
6.5.2 Opatření agrotechnického charakteru .....	28
6.5.3 Opatření biotechnického charakteru .....	28
<b>7 Legislativa ochrany půdy .....</b>	<b>31</b>
7.1 Právní předpisy České republiky .....	31
7.1.1 Ochrana zemědělského půdního fondu.....	31



7.1.2	Odvozy a odnětí ze zemědělského půdního fondu .....	32
7.1.3	Kontaminace půd .....	34
7.1.4	Aplikace hnojiv, odpadních kalů a sedimentů .....	34
7.1.5	Ekologická újma na půdě.....	35
7.1.6	Ochrana půdy před degradačními faktory .....	35
7.2	Právní předpisy Evropské unie.....	37
<b>8</b>	<b>Srovnání erozní situace v České republice a ve světě .....</b>	<b>38</b>
<b>9</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>40</b>
9.1	Lokalizace měření .....	40
9.2	Metodika terénního sběru dat.....	41
9.2.1	Výběr reprezentativní plochy.....	41
9.2.2	Popis půdních jednotek.....	42
9.2.3	Odběr půdních vzorků .....	42
9.2.4	Sestavení přístroje v terénu.....	42
9.2.5	Popis způsobu měření – simulace.....	45
9.2.6	Odběr odvátného sedimentu .....	45
9.3	Analýzy půdy a sedimentu .....	46
9.3.1	Stanovení Cox (půda, sediment).....	46
9.3.2	Stanovení „primární organické hmoty“ (sediment) .....	47
9.3.3	Analýza zrnitosti (půda, sediment) .....	48
9.4	Analýza stability půdní struktury metodou MWD (půda – povrch) .....	48
9.4.1	Pojmy .....	48
9.4.2	Pracovní postup.....	48
9.5	Testované hypotézy.....	52
<b>10</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>53</b>
10.1	Charakteristika měřených ploch.....	53
10.1.1	Měření č. 2 .....	53
10.1.2	Měření č. 3 .....	54
10.1.3	Měření č. 4 .....	55
10.1.4	Měření č. 5 .....	56
10.1.5	Měření č. 6 .....	57
10.2	Slovní vyhodnocení jednotlivých lokalit .....	58
10.2.1	Měření č. 2 .....	59
10.2.2	Měření č. 3 .....	60
10.2.3	Měření č. 4 .....	62
10.2.4	Měření č. 5 .....	63
10.2.5	Měření č. 6 .....	65
10.2.6	Souhrnné poznatky z měření.....	66
10.3	Statistické vyhodnocení .....	68

10.3.1	Použitý program a metody .....	68
10.3.2	Statistické vyhodnocení hypotéz .....	68
<b>11</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>73</b>
<b>12</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>76</b>
<b>13</b>	<b>Literární zdroje .....</b>	<b>77</b>

# 1 Úvod

Eroze půdy bývá často hodnocena podle množství zeminy, která byla erozí odnesena. Je však třeba si uvědomit, že kromě minerální složky je půda ochuzována i o část organickou a eroze tak přímo přispívá k rozvoji další formy degradace – dehumifikaci. Poněkud v pozadí vodní eroze je eroze větrná, která je v krajině stále více patrná díky nastupujícím klimatickým změnám. Na úbytek půdní organické hmoty vlivem eroze má vliv mnoho faktorů. Cílem této práce bylo zjistit, které faktory mají vliv na celkovou ztrátu půdy větrnou erozí po měření simulátorem větru, na obsah množství uhlíku v sedimentu a kolik z této části ztrát uhlíku je tvořena primární organikou neboli kořínky a dalšími zbytky rostlin, které jsou také větrnou erozí odváty spolu s částicemi půdy. K měření množství odvátného sedimentu byl použit speciální přístroj – mobilní simulátor větru. Získaný sediment byl po měření analyzován v laboratoři, kde byl zjišťován především obsah uhlíku. Mobilní simulátor větru byl vytvořen ve Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půd v.v.i. na oddělení Pedologie a ochrany půd. Simulace probíhala 2x po sobě na stejném místě a vždy trvala 15 minut při rychlosti větru 9 m/s. První varianta měření (Xa) byla provedena na ploše bez úpravy jejího povrchu, druhá varianta měření (Xb) byla provedena na totožné ploše po standardizaci povrchu, která probíhala pomocí ručních hrabiček, půda se rozrušila a prokypřila do hloubky 2 cm a na závěr byl povrch uválen válcem ve směru větru do roviny. Úprava povrchu byla navržena z důvodu ověření možné „standardizace“ podmínek měření a zlepšení interpretace výsledku. V této práci byla zhodnocena měření na šesti lokalitách, které měly odlišný půdní druh i typ.

Ještě nedávno se důsledky větrné eroze daly modelovat pouze v počítačových programech. Tato nová technologie dokáže získat informace o reálné ztrátě půdy při určité rychlosti větru. Odvátný sediment poté může být analyzován v laboratoři a na základě získaných informací o sedimentu můžou být zkoumány vztahy mezi charakterem půdy a charakterem sedimentu. Větrnou erozí je půda ochuzována o nejcennější část – ornici, zároveň s částicemi půdy, které obsahují uhlík, jsou odváty i rostlinné zbytky na povrchu půdy, tudíž dochází k ochuzení půdy o důležitý uhlík hned ve dvou formách. Výsledky získané z měření simulátorem by měly přispět k získání reálné představy o ztrátě půdy větrnou erozí a přispět k realizaci vhodných opatření proti větrné erozi v České republice.

## 2 Cíle diplomové práce

Cílem práce bylo vyhodnotit ztrátu organické hmoty v půdě vlivem eroze během terénních měření simulátorem větru na šesti odlišných lokalitách s různými půdními druhy a typy.

Specifické cíle práce:

- 1) Vyhodnotit vliv stavu povrchu půdy na ztrátu půdy měřenou větrným tunelem (Xa = přirozený povrch, Xb = povrch homogenně narušený hrabičkami a poté uválen válcem);
- 2) Vyhodnotit vliv stability půdní struktury na ztrátu půdy;
- 3) Vyhodnotit vliv obsahu Cox v půdě na ztrátu půdy;
- 4) Vyhodnotit vliv půdního druhu na ztrátu půdy.

### 3 Půda a její charakteristika

Půda je definována jako samostatný přírodní útvar, který vznikl z povrchových zvětralin zemské kůry a organických zbytků během působení půdotvorných procesů. Nachází se ve svrchní části zemského povrchu. Půdu lze také popsat jako dynamický, stále vyvíjející živý systém. Plní velké množství funkcí v krajině, dochází v ní k neustálé výměně energie a toku živin mezi jednotlivými složkami. Jednotlivé půdní složky jsou horninové materiály, které pokrývají celistvé podloží, voda, vzduch a organická hmota (Šimek, 2007).

Za nejcennější přírodní bohatství se považuje půda, protože na ní závisí všechna suchozemská biologická společenstva, půdní organismy a ovlivňuje lesní hospodářství i zemědělskou výrobu. Její degradace a úbytek představuje nebezpečí pro krajinu, hospodářskou činnost a tím i pro celé lidstvo, proto jí musíme chránit (Zdralek, 1999).

Půda vzniká velmi dlouhou dobu, může to trvat až tisíce let a podílí se na tom mnoho půdotvorných faktorů. Je to složitý proces, jehož výsledkem je půda s odlišnými vlastnostmi. Základem půdotvorného procesu je matečná hornina, která je součástí minerálního podílu pevné složky půdy a ovlivňuje půdotvorný substrát svojí texturou a mineralogickým zastoupením. Zvětráním matečné horniny vznikne půdotvorný substrát, ten se půdotvorným procesem přemění na půdu. V půdotvorném procesu se uplatňují fyzikální a chemické změny, ale stejně významnou roli mají rostliny, půdní mikroorganismy a půdní živočichové (Němeček a kol., 1990). Půdní vlastnosti nejvíce ovlivní při vzniku vlastnosti matečné horniny, klimatické podmínky, topografie terénu, vegetace, půdní organismy a biologické procesy. Významné podmínky pro půdotvorný proces jsou parametry reliéfu jako výšková poloha, svažitost, expozice, terénní deprese a čas nutný k průběhu dějů (Šimek, 2007).

Vlastnosti půdy jsou rozdělovány na fyzikální, chemické a biologické. Mezi fyzikální vlastnosti půd patří textura, struktura, specifická hmotnost půdních částic, barva a teplota půdy. Význam má také vlhkost, hydraulická vodivost a provzdušněnost půdy. K chemickým vlastnostem půd patří elementární a minerální složení, složení půdního roztoku a půdního vzduchu, obsah a složení půdní organické hmoty, stav půdních koloidů a sorpčního komplexu. Za významné biologické vlastnosti půd se považují různé charakteristiky půdních organismů a biologických procesů. Patří sem například početnost,

biomasa, rychlost respirace, aktivity jednotlivých půdních organismů a rychlost přeměn sloučenin dusíku (Vopravil, 2010).

Na Zemi je celková výměra pevné půdy 133 milionů km<sup>2</sup>, zemědělsky se využívá pouze 14 milionů km<sup>2</sup>. V České republice je 78 870 km<sup>2</sup> neboli 7 887 tisíc ha půdy. Z toho je zemědělsky využíváno 4 249 tisíc ha, lesní pozemky zabírají 2 653 tisíc ha, zastavěné plochy, vodní plochy a ostatní využití půdy činí 985 tisíc ha. Různorodost původních porostů a reliéfu, variabilita klimatických a hydrologických podmínek a pestrost geologických substrátů způsobily velmi široký a rozmanitý půdní pokryv v České republice. Pedologie jako každá věda má klasifikační systém založený na jejich genezi, diagnostických znacích, horizontech a analytické charakteristice. Zahrnuje 9 taxonomických kategorií. Nejčastěji se používá půdní druh a typ (Vopravil, 2010).

Zrnitostní složení půdy vyjadřuje druh. Rozlišuje se na skelet, který zahrnuje částice větší než 2 mm a jemnozem, která zahrnuje částice menší než 2 mm. Dobře propustné a provzdušněné půdy se nazývají lehké (písčité) půdy. Poté mohou být hlinitopísčité a písčitohlinité půdy. Zemědělsky nejvíce využívané s hlubokým horizontem se nazývají půdy středně těžké (hlinité). Poté mohou být jílovitohlinité a hlinitojílovité půdy. Zemědělsky nevyužívané, málo propustné, se nazývají těžké (jílovité) půdy (Němeček a kol., 1990).

Pokud má půda podobné morfologické a analytické znaky, stejný půdotvorný proces a stejný diagnostický půdní horizont, jedná se o půdní typ. Nejčastěji se v České republice vyskytuje kambizem (70 %), poté jsou pro zemědělství významné černice, černoze a hnědozem (15 %), aluviální náplavy toků tvoří fluvizem, další zastoupení mají luvizemě, pseudogleje, rendziny a pararendziny (14 %). Méně časté až vzácné jsou šedoze, gleje a rašeliny (1 %). Půdních typů je v ČR zastoupeno více, výše uvedené jsou ty nejčastější (Vopravil, 2010).

## **4 Ohrožení půdy**

Půdní pokryv je základní prostředkem v oblasti zemědělství a lesnictví, proto je významnou složkou životního prostředí s mnoha funkcemi a tím je významný pro lidstvo. Bez kvalitní půdy by bylo málo surovin pro potravu, málo rostlin a stromů, které produkují kyslík. Ohrožení půdy způsobuje řada přírodních procesů, ale závažnější hrozbu způsobuje lidská činnost (Němeček a kol., 1990).

Vnitřní environmentální vlastnosti půdy vytvářejí reakce na podněty z okolního prostředí. Patří tam tyto vlastnosti:

- Tolerance je podobná stabilitě a charakterizuje snášenlivost k degradačním procesům.
- Stabilita udržuje určitý stav pomocí dynamické rovnováhy.
- Resistence je schopnost odolávat narušení dynamické rovnováhy.
- Resilience neboli pružnost způsobí navrácení do původního stavu po skončení působení rušivého vlivu.
- Labilita vyjadřuje neschopnost vrátit se do původního stavu po skončení působení rušivého vlivu.
- Náchylnost charakterizuje schopnost podlehnout nevratnému narušení rovnováhy.
- Citlivost vyjadřuje rychlost projevu narušení původních vlastností.
- Ohroženost popisuje stupeň možné celkové degradace pedosféry.
- Zranitelnost neboli vulnerabilita vyjadřuje rozsah změn, zahrnuje vztahy mezi odolností a náchylností, vztahy mezi pružností a citlivostí.

Míru kritického zatížení intenzivním využíváním, změnou vlastností a zatížením cizími látkami vyjadřuje únosnost půdy. Všechny příčiny i následky jsou vzájemně propojené, primární faktor degradace způsobí další sekundární formy degradace, které urychlují degradační proces, jenž pak může vést k úplné destrukci. Pro půdu je nejvhodnější se o ní průběžně starat a předcházet příčinám degradace (Vopravil, 2010).

#### **4.1 Acidifikace**

Degradační přírodní proces snižující pufrací schopnost půdy (odolávání změnám pH), navazuje na snížení obsahu uhličitánů v půdě a půdním roztoku, případně vytěsňuje bazické kationty ze sorpčního komplexu jejich náhradou ionty vodíku  $H^+$ . V kyselějších půdách bez uhličitane vápenatého  $CaCO_3$  je hlavním neutralizačním procesem zvětrávání primárních silikátů až k hodnotám pH kolem 4,0. Po dosažení této reakce je další okyselování zastavováno rozpouštěním hydratovaných oxidů hliníku, to způsobuje přímou hranici toxicity hliníku a vysokou mobilitu rizikových prvků.

Důsledky acidifikace způsobují zvýšení nebezpečí rozvoje patogenních organismů, zvýšení pohybu rizikových prvků, snížení kvality humusu, zpomalení uvolňování minerálního dusíku z humusu, neschopnost změny fosforu v půdě do sloučenin, ze kterých

ho nemohou čerpat rostliny, uvolňování draslíku do půdního roztoku a možnost jeho ztráty vyplavením, snížení odolnosti proti rozpadu strukturních agregátů způsobující větší zranitelnost erozí a utužením.

Prevenici acidifikace je možno realizovat omezením kyselých vstupů, pravidelným střídáním plodin v rotaci, zvýšením zastoupení víceletých píceňin, pravidelným vápněním půd (obzvláště je vhodný mletý vápenec) a omezením monokultury.

Okyselování půdy urychluje činnost člověka. Negativní účinek způsobuje používání průmyslových a statkových hnojiv, imise a kyselá deště. Půdy s uhličitany se okyselují pomaleji než půdy bez výskytu  $\text{CaCO}_3$ . V České republice byl zaznamenán mírný pokles pH u většiny půd, proto je důležité dodržovat prevenci (Vopravil, 2010).

## 4.2 Dehumifikace

Hromadění organické hmoty v půdě a její přeměna na humus je přirozený půdotvorný proces. Proces akumulace organických látek závisí na klimatu, půdotvorném substrátu, vegetaci, vodním, vzdušném a tepelném cyklu. V půdě je akumulováno pouze 10–30 % uhlíku jako humus, zbytek uhlíku je uvolňováno jako oxid uhličitý  $\text{CO}_2$  do ovzduší, proto zvýšená aerace a hydrotermické režimy zvyšují mineralizaci, ale snižují humifikaci organické hmoty (Jeřábková, 2019).

Za příčiny ztráty organické hmoty se považuje působení vodní a větrné eroze, zvýšení aerace při rozorávání, zvýšení mineralizace při změně hydrotermických a aeračních podmínek po odvodnění a nedodávání organické hmoty během intenzivní produkce. Negativní významný vliv na vývoj humusu má pouze větrná a vodní eroze, protože odnáší veškeré humusové horizonty půdy. Jinak by se muselo sejít několik degradačních faktorů současně, výrazný zásah do aeračních a hydrotermických podmínek a intenzivní poškozování erozí (Šimon a kol., 1989).

Důsledků úbytku půdní organické hmoty je mnoho, jsou závažné a narušují přirozené environmentální vlastnosti půdy. Ztráta organické půdní hmoty zapříčiňuje primárně snížení produkční schopnosti. Děje se tomu tak, protože u půdy nastane snížení stability půdních agregátů, odolnosti, pufrační schopnosti, transformační a asanační schopnosti, retenční schopnosti, poutání živin a kontaminujících látek a zvýšení obsahu dusičnanů. Pro optimální obsah organické hmoty je potřeba dodržovat pravidelné organické hnojení, zaorávání rostlinných zbytků po sklizni hlavních plodin a cílené



pěstování meziplodin za účelem zvýšení podílu organické hmoty v půdě (Jeřábková, 2019).

### 4.3 Utužení

Utužení, někdy též nazýváno jako kompakce nebo zhutnění, označuje degradaci fyzikálních vlastností půdy. Způsobuje rozpad půdní struktury, čímž se změni další vlastnosti jako pórovitost, infiltrace, retence, propustnost a objemová hmotnost.

Rozlišujeme dva druhy utužení:

- Genetická kompakce vzniká při zajištěných illuviálních nebo oglejených horizontů.
- Technogenní kompakce vzniká při přejezdy těžkou zemědělskou technikou, která stlačuje půdu.

Příčiny zhutnění zemědělské půdy způsobuje především člověk svými nevhodnými zemědělskými postupy. Jedná se o utužování půdy těžkými mechanismy za nevhodných vlhkostních podmínek, nevhodnou kultivaci, zbytečně vysokou závlahu, vysoké hnojení draslíkem, pěstování monokultur, úbytek organické půdní hmoty a acidifikaci půdy.

Důsledky kompakce jsou závažné, poškozují produkční i mimoprodukční funkce. Následky utužení podporují další degradační faktory. Při kompakci dochází ke snížení pórovitosti, omezení infiltrace, potlačení biologické aktivity půdy a omezení účinnosti hloubky půdního profilu. Z toho vyplývá, že na půdě, která je degradována utužením, jsou zhoršené podmínky pro vzcházení a vývoj rostlin a urychlený povrchový odtok, který zvyšuje erozi. Důsledky nejsou trvalé a odstraňují se přírodním procesem promrzávání půdy až do hloubky 0,8 metru (Vopravil, 2010).

### 4.4 Zastavování území a suburbanizace

Nekontrolovatelné šíření měst a zastavování kvalitní zemědělské půdy nepropustným materiálem vede ke zničení všech funkcí půdy. K tomuto typu degradace půdy dochází, protože pro výstavbu jsou pozemky levnější na louce než v zastavěném území města, či opravování starší nemovitosti. Také je stále velká poptávka po prostorech určených k bydlení ve velkých městech, kde není už dostatek místa pro novou výstavbu, a tak se nové nemovitosti staví na okraji měst, kde se nachází často velmi úrodná půda.

Tento degradační proces se řadí k nejzávažnějším, protože jeho důsledky jsou nevratné. Půda ztratí všechny své produkční i mimo produkční funkce (Vopravil, 2010).

Sníží se biodiverzita v okolí, nedostatečnou infiltrací půdy vznikají lokální povodně a nedoplňuje se podzemní voda. Nekontrolované větší oblasti nové zástavby mohou způsobit i kontaminaci okolí zvýšenou dopravou a odpadními vodami. Intenzivní doprava hlavně osobními automobily v dříve neobydlených oblastech způsobuje zvýšení znečištění ovzduší jak emisemi, tak hlukem a představuje novou migrační bariéru pro lesní a polní zvěř. Větší množství odpadních vod, vznikající při různých aktivitách nových obyvatel, je nebezpečné pro život vodních organismů, ale i dalších živočichů závislých na tomto znečištěném zdroji vody (Sýkora, 2002).

Ochranu zemědělské půdy poskytuje Zákon č. 334/1992 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu. V citovaném zákoně jsou ochranná opatření směřována do procesu územního plánování, kde se určují možné plochy k zástavbě. Bohužel ne vždy se daří ochranu zemědělské půdy vhodně zařadit do průběhu územního plánování. Trh České republiky nemá dostatečně nastavené ekonomické faktory, které by dostatečně omezily nekontrolovatelnou zástavbu na zemědělské půdě na okraji měst (Vopravil, 2010).

#### **4.5 Kontaminace**

Pokud se v půdě vyskytuje zvýšený obsah potenciálně rizikových látek s antropogenním původem, jedná se o kontaminaci půdního prostředí. Kontaminační látky jsou nejčastěji perzistentní organické polutanty, radioaktivní prvky, rizikové prvky a kyanidy. Kontaminaci způsobují imisní zátěže, havarijní situace, vypouštění odpadních vod, nebezpečné skládky odpadů a používání agrochemikálií. Méně častá je kontaminace půdy přírodními procesy. Požáry, vulkanická činnost a geochemicky anomální substráty mohou způsobit kontaminaci organickými polutanty a rizikovými prvky.

Existují dvě významné skupiny kontaminantů:

- Potenciálně rizikové prvky (arzen, kadmium, olovo, rtuť, zinek).
- Perzistentní organické polutanty (uhlovodíky, rozpouštědla, polycyklické aromatické uhlovodíky, pesticidy).

Při zvýšeném obsahu kontaminantů v půdním prostředí může dojít k přímému ohrožení lidského zdraví. Kontaminanty mohou být obsaženy v plodinách, dostat se do podzemní a povrchové vody, při vysokém obsahu znečištění kontaminanty jsou ohroženi i zemědělci inhalačním, dermálním a perorálním příjmem cizích látek. Řešením kontaminace je snížení toxických a negativních vlastností daných látek nebo je přímo odstranit z půdy. Je to ale složitý a drahý proces, vhodnější je prevence. V České republice

tuto problematiku řeší vyhláška MŽP 153/2016 Sb., která stanovuje preventivní a indikační limity obsahu kontaminantů, řeší i použití kalů čistíren odpadních vod a vytěžených sedimentů ze zemědělství (Vopravil, 2010).

## 4.6 Eroze

Často je zmiňováno, že eroze půdy má největší vliv na destrukci přírodních zdrojů (půdy a vody) ve světě, protože je značně rozšířená, má četné následné účinky a je velmi obtížné včas rozeznat její potencionální nebezpečí (Pasák, 1984). Vědní obor erodologie zkoumá erozi půdního prostředí. Erodologie pojednává o příčinách vzniku, typech, důsledcích a způsobech ochrany před erozí. Americký erodolog H.H. Bennet je považován za zakladatele erodologie. Bennet uvádí rozlišení na erozi geologicky-přirozenou a erozi zrychlenou antropogenním vlivem (Zachar, 1989; Janeček, 2008).

Při erozi dochází působením ledu, větru, vody a dalšími činiteli k rozrušování půdního povrchu, transportu půdních částic a jejich následnému usazování. Erozi lze charakterizovat jako soubor přírodních procesů, které se vyskytovaly často v České republice po přechodu na velkovýrobní systém zemědělství. Během bývalého režimu byly zrušeny všechny krajinné a hydrografické prvky. Docházelo k rozorávání mezí, zatravněných údolnic, likvidaci rozptýlené zeleně, a to vytvořilo speciální podmínky pro urychlení erozního procesu (Novotný, 2014). Nejzávažnější škody způsobuje povrchový odtok, ale i větrná eroze dokáže napáchat závažné škody pro půdu (Novotná, 2001). Tento přírodní proces nelze zcela eliminovat, ale je potřeba ho výrazně omezit, a tím zastavit znehodnocování půdního fondu České republiky (Kvítek, Tipll, 2003).

Proces eroze způsobuje několik negativních vlivů na půdní prostředí (Vopravil, 2010):

- Ochuzuje půdu o nejurodnější část tzv. ornici.
- Negativně působí na fyzikálně – chemické vlastnosti půdy.
- Zmenšuje mocnost půdního profilu.
- Zvyšuje šterkovitost.
- Poškozuje plodiny a kultury.
- Snižuje obsah živin a humusu.
- Způsobuje ztrátu osiv, sadby, hnojiv.

Vodní eroze má negativní vliv na vodní prostředí. Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje, snižují průtočnou kapacitu, zanášejí

akumulační nádrže, zakalují povrchové vody, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu sedimentů. Větrná eroze poškozuje klíčící rostliny, znečišťuje ovzduší a způsobuje škody navátím ornice (Janeček, 2007).

Podle činitele, který působí na vznik a průběh eroze, je rozlišována na tyto druhy (Holý, 1994):

- Vodní (akvatická)
- Ledovcová (glaciální)
- Sněhová (nivální)
- Větrná (eolitická)
- Antropogenní
- Zemní

Vodní eroze je způsobena kinetickou energií dešťových kapek dopadajících na půdní povrch a mechanickou silou povrchově stékající vody. Jarní tání sněhu, dlouhotrvající a přívalové srážky způsobují povrchový odtok, který transportuje půdní částice. Vodní eroze existuje i v jezerech, rybnících, v moři, při pobřeží, dokonce i v podzemních vodách. Koroze je chemická eroze, koroze se označuje mechanická eroze. Evorze vymílá horniny krouživým pohybem, abraze popisuje obrušování skalního podkladu na dně toků, jezer i moří. Ledovcová eroze se momentálně v České republice nevyskytuje, důkaz o její existenci v dávné minulosti jsou krkonošské morénové sedimenty. Sněhová eroze se vyskytuje v podhorských oblastech. Vzniká sesuvem laviny, kde dojde ke zničení zasaženého území, nebo jarním táním, kdy dochází k pomalému pohybu sněhu po nezamrzlém půdním povrchu (Holý, 1978).

U větrné eroze je nejdůležitější vítr. Četnost výskytu, doba trvání a rychlost proudu větru ovlivňuje unášecí sílu a tím i pohyb půdních částí (Janeček, 2008). Nejlepší podmínky pro větrnou erozi jsou v suchých oblastech nekrytých vegetací s narušenými fyzikálními vlastnostmi půdy (Zachar, 1989). Antropogenní erozi charakterizují zásahy člověka do přírody, které urychlují erozní proces. Za nejzávažnější lidské zásahy se uvádí intenzifikace zemědělství, výstavba komunikací a urbanizace. Zemní erozi charakterizuje pohyb suťového materiálu prosyceného vodou, ten následně rozrušuje půdu a vytváří hluboké rýhy. Ohroženy jsou nejvíce údolí, osady, komunikace a technické stavby (Holý, 1978).

## **5 Vodní eroze**

### **5.1 Definice**

Vodní eroze je charakterizována jako komplexní proces, který zahrnuje rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částí činností vody. Eroze půdy je přirozený proces, který nelze zcela eliminovat (Zachar, 1989). Rozlišujeme erozi přirozenou a zrychlenou (Novotný, 2014).

Normální eroze je přirozená a přetváří postupně povrch země. Lidské oko tyto změny není schopné zaznamenat. Pozorovatelné změny reliéfu trvají mnoho let, přirozená eroze probíhá pomalu a v souladu s půdotvorným procesem (Lee, 2009). Zrychlená eroze smývá půdní částice příliš rychle, tak se půda nestačí obnovovat. To je zpravidla nevhodným zemědělským hospodařením, půdu je před tímto typem eroze potřeba chránit (Novotný, 2004).

Vodní erozi je ohroženo více než 50 % orné půdy v České republice, nejvíce na jižní Moravě. Z agronomického hlediska se jedná o fyzikální a biologické narušení půdního prostředí. Dochází k nenávratné ztrátě zeminy a humusu, vysušení půdy, utlumení edafonu a celkové degradaci produktivity zemědělských pozemků (Hálek, 2004). Vodní erozi způsobuje síla dešťových kapek, dopadající kapky rozruší povrch půdy a následný povrchový odtok vymílá a odnáší jemné částice. Větší částice půdy jsou odnášeny erozními rýžky a rýhy, kde se soustředí plošný odtok (Bartošková, Vlasák, 2007).

### **5.2 Třídění**

Vodní eroze se rozlišuje podle formy působení na povrchovou a podpovrchovou. Povrchová vodní eroze má tři různé druhy (Holý, 1978).

#### **5.2.1 Povrchová vodní eroze**

Plošná povrchová vodní eroze je definována rovnoměrným smyvem částic po celé ploše pozemku (Pasák a kol., 1984). Rozlišuje se na selektivní a vrstevnatou erozi. Selektivní eroze odnáší nejjemnější částice a na ní vázané chemické látky. Rozpoznat se dá z jemného materiálu akumulovaného v dolních částech svahu. Vrstevnatá eroze má silnější kinetickou energii, povrchově stékající voda smývá vrstvy půdy, obvykle dochází ke ztrátě ornice (Holý, 1978).

Výmolná povrchová vodní eroze vyrývá v půdním povrchu mělké postupně prohlubující se zářezy, které vytváří zesilující soustředěvaný povrchový odtok. Tento proces se rozlišuje na pět stupňů (Novotný a kol. 2014):

- 1) Rýžková
- 2) Brázdová
- 3) Rýhová
- 4) Výmolová
- 5) Stržová

Rýžková eroze vytváří hustou síť drobných mělkých zářezů v povrchu půdy. Při brázdové erozi vznikají širší mělké zářezy, jejichž četnost je menší než u rýžkové eroze. Rýžková a brázdová eroze rozrušuje velkou plochu území, a tak se označuje za nejvyšší úroveň plošného erozního procesu. Eroze rýhová vzniká z rýžek a brázd, které se soustředěným povrchovým odtokem postupně prohlubují a rozšiřují, a tím se mění v hlubší rýhy. Při stále silnější odtékající vodě na povrchu přechází eroze rýhová na erozi výmolovou. Eroze výmolová se může přeměnit na erozi stržovou, která zpravidla nebezpečně devastuje území (Holý, 1978).

Proudová povrchová vodní eroze se nachází ve vodních tocích. Probíhá působením vodního proudu a rozlišuje se na erozi dnovou a břehovou. V bystřinách se projevuje nejčastěji (Novotný a kol., 2014).

### **5.2.2 Podpovrchová vodní eroze**

Tímto termínem označován jev, kdy se půdní částice a živiny z vrchních půdních horizontů přemísťují do nižších horizontů působením infiltrujících srážek. Tento proces patří k přirozeným půdotvorným dějům, proto není vhodné ho pojmenovávat jako podpovrchová vodní eroze (Holý, 1978).

## **5.3 Příčiny**

Na vznik, průběh a intenzitu vodní eroze má vliv několik faktorů, které jsou rozlišovány do pěti odvětví (Bartošová, Vlasák, 2007):

- Morfologie terénu
- Klimatické a hydrologické podmínky
- Vegetační podmínky
- Geologické a půdní podmínky

- Způsob využívání a obhospodařování zemědělských pozemků

Výraznější vliv na vodní erozi má tvar terénu, zejména sklon a délka pozemku. Reliéf terénu ovlivňuje, zdali se plošný odtok přemění na soustředěný odtok, který je z hlediska intenzity eroze závažnější. Zeměpisná poloha a nadmořská výška určuje průměrný úhrn srážek, včetně odhadu jejich kumulace do přívalových dešťů, které ovlivňují erozi nejvýznamněji. Na zcela nechráněných pozemcích vegetací je eroze nejintenzivnější. Různé vegetační pokryvy a pěstované plodiny poskytují různou protierozní ochranu půdního povrchu. Geologické a půdní vlastnosti, zejména zrnitost, textura, struktura a množství humusu, udávají náchylnost konkrétního půdního prostředí k erozi. Intenzita eroze je ovlivněna volbou druhu pozemku, způsobem využití pozemku, směrem obdělávání a používáním agrotechnických strojů. Každý zemědělec by měl vědět, které plodiny jsou erozně ohrožené, a které naopak poskytují ochranu před erozí. Následně podle těchto vědomostí by měl volit vhodnou vegetaci, velikost pozemku a způsob hospodaření (Bartošová, Vlasák, 2007).

#### **5.4 Důsledky**

Poškozování půdního povrchu vlivem eroze a dalšími negativními faktory způsobuje snížení produkční schopnosti půdy. Tato problematika je dlouho známa, ale její rozsah, vliv na život lidstva a globální výskyt je větší než kdy předtím, protože závažnost následků eroze půdy byla dlouho podceňována a ignorována. V řadě zemí světa degradace půdy vede k sociální a politické nejistotě, protože nejen že ovlivňuje životní prostředí, ale závisí na něm existence lidské populace. Nejobecnější definice eroze je pokles produkční schopnosti orné půdy, způsobený nevhodným hospodařením na zemědělském pozemku. Slovo degradace vystihuje nepříznivé změny v koloběhu živin, obsahu organické hmoty a všech fyzických, biologických a chemických vlastností půdního prostředí (Janeček a kol., 2007).

Zrychlená vodní eroze ochuzuje půdu o její nejúrodnější část, která se nazývá ornice. Zhoršuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, snižuje propustnost půdy, poškozuje plodiny, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztrátu osiv, sadby a hnojiv. Transportované půdní částice a ně vázané látky znečišťují vodní zdroje, zanášejí akumulární nádrže, snižují průtočnou kapacitu, zakalují povrchové vody, narušují prostředí pro vodní organismy a zvyšují náklady na úpravu vody (Novotný, 2014).

Následky zrychlené vodní eroze se rozlišují do následujících kategorií (Novotný, 2014):

- Hrozba pro trvalou udržitelnost půdy.
- Změna kvantitativních parametrů vodních zdrojů.
- Změna kvantitativních charakteristik vodních zdrojů.
- Ohrožení měst a obcí, komunikací a dalších objektů v krajině.

Někteří se v důsledku snižování produkční schopnosti půdy erozí snaží ji uměle zvyšovat chemizací, nepřiměřené používání chemikálií pak vede k rozsáhlému úmrtí půdních mikroorganismů. Největší význam mají bakterie a aktinomycety, v jednom gramu půdy se vyskytují miliardy půdních organismů. Z toho vyplývá, že nadměrné používání chemie je nevhodné a problematiku zrychlené eroze řeší nesprávně (Janeček a kol., 2007).

## **5.5 Protierozní opatření**

Úkolem protierozní ochrany je chránit půdu i vodu. Jedná se o souhrn nezbytných opatření, které brání důsledkům vzniklým při poškození těchto dvou cenných přírodních zdrojů. Hlavní principem je komplexnost protierozních opatření (Holý, 1994). Především zemědělskou půdu na svazích je potřeba chránit pomocí vhodných protierozních opatření. Použití jednotlivých způsobů ochrany určuje jejich účinnost, potřebné snížení smyvu půdní vrstvy, nutná ochrana vodních zdrojů, toků, nádrží a zastavěných ploch. Při realizaci jednotlivých způsobů ochrany před erozí se musí respektovat zájmy vlastníků a uživatelů půdy, ochrany přírody, životního prostředí a krajinného rázu (Janeček a kol., 2002).

V průběhu provádění komplexních pozemkových úprav je důležité věnovat patřičnou pozornost protierozní ochraně a napravovat škody vzniklé v minulosti. Základní kroky v návrhu komplexních pozemkových úprav vychází z nových cestních sítí, nových územních systémů ekologické stability a z optimálních prostorových a funkčních protierozních opatření (Dumborvský, 2004). Nejvíce se opatření proti vodní erozi prolínají s vodohospodářskými opatřeními, zasahujícími také do protipovodňové ochrany, vodního režimu krajiny a ekologické stability. Ochranu proti vodní erozi je nutné plánovat a řešit v rámci celých povodí (Bartošková, Vlasák, 2007).

Obvykle navrhované řešení zahrnuje komplexnost organizačních, agrotechnických a technických opatření, vzájemně se musí doplňovat a respektovat základní požadavky



nových podmínek zemědělské výroby. Velkou roli mají i náklady na realizaci opatření a platné legislativně-právní předpisy (Podhrázká, Dufková, 2005). Stávající legislativa disponuje dostatkem nástrojů k poskytnutí protierozní a protipovodňové ochrany různých lokalit. Řešit tyto problémy je vhodné pomocí komplexních pozemkových úprav, velmi důležitou roli mají také programy revitalizace říčních systémů, péče o krajinu a dotační politika ministerstva životního prostředí a zemědělství. Pozitivní výsledky protierozní ochrany se projevují v dlouhodobé perspektivě a obvykle převyšují současné přínosy zemědělství, hlavně tam, kde jsou chráněny i vodní toky, komunikace a intravilán obcí. Základním principem protipovodňové a protierozní ochrany je v nejvyšší míře zadržet povrchovou vodu v povodí zvýšením infiltrace vody do půdy, zmírněním sklonu území a snížením sklonu soustředěného odtoku (Podhrázká, Dufková, 2005; Janeček a kol., 2007).

### 5.5.1 Opatření organizačního charakteru

Organizační protierozní opatření charakterizuje změna druhů pozemků a protierozní rozmístování rostlin. Pozemky by se měly situovat delší stranou ve směru vrstevnic. Tento typ opatření má poměrně nízké náklady a jedná se především o pěstování plodin s vysokou protierozní účinností.

Mezi opatření organizačního charakteru patří (Holý, 1994; Podhrázká, Dufková 2005):

- Velikost a tvar pozemku
- Delimitace kultur
  - Ochranné zatravnění (svahy vyšší než 25 % / 17°)
  - Ochranné zalesnění (svahy vyšší než 50 % / 12°)
- Protierozní rozmístování plodin
  - Protierozní osevnické postupy
  - Pásové střídání plodin
- Protierozní směr výsadby ve speciálních kulturách

#### 5.5.1.1 Optimální velikost a tvar pozemku

Základem organizačního opatření je umístit půdní blok delší stranou po vrstevnici, podporuje to obdělávání po směru vrstevnic a zároveň zkracuje délku pozemku po spádnici. Současně je důležité, aby tato délka půdního bloku ve směru odtokových linií

nepřekračovala maximální přípustnou délku dle USLE (univerzální rovnice ztráty půdy). Implementace tohoto opatření v praxi probíhá pomocí komplexních pozemkových úprav.

#### 5.5.1.2 Delimitace kultur

Pro delimitaci kultur je rozhodující sklonitost terénu. Svahy s vyšším sklonem než 50 % by měly být zalesněny. Zatravněny by měly být svahy s vyšším sklonem než 25 %, dráhy soustředěného povrchového odtoku, pozemky s výškovou hranicí pěstování polních plodin a území, které je nevyužitelné jako orná půda, protože má vysokou hladinu podzemní vody, terénní překážky nebo se jedná o zamokřenou údolní louku s rizikem záplav (Janeček a kol. 2007).

#### 5.5.1.3 Protierozní rozmístování plodin

Účinek plodin proti erozi je dán vrůstem, rychlostí vývinu, olistěním a typem pěstování. Pěstující plodiny na základě protierozních opatření můžeme seřadit podle stoupající erozní ohroženosti na:

- Travní porost
- Vojtěška
- Jetel
- Obilovina ozimá
- Obilovina jarní
- Hrách
- Řepka ozimá
- Slunečnice
- Brambory
- Cukrovka
- Kukuřice

Na pozemcích mírně ohrožených erozí, tedy do 3° by se měly pěstovat širokořádkové plodiny, u svahů delších než 300 metrů se používá protierozní agrotechnika nebo zasakovací travní pásy, jinak se plodiny pěstují klasickým způsobem bez dalších ochranných opatření. Na pozemcích středně ohrožených erozí, tedy do 7° by se měl pěstovat len, řepka, okopaniny a obiloviny, zde se už volí vhodná protierozní agrotechnika, případně se vybudují průlehy. Pozemky výrazně ohrožené erozí, tedy do 12° by se měly využívat k pěstování pouze úzkořádkových plodin s vysokým podílem víceletých pícnin.

Zemědělské pozemky se svahem nad 12° by se měly zatravnit (Podhrázská, Dufková 2005).

Pásové střídání plodin znamená obdělávání pozemku po vrstevnicích v kombinaci se střídáním stejně širokých pásů plodin, které půdu před erozí nechrání, s pásy plodin chránící půdu dobře. Podle protierozního účinku se volí šířka pásů. Při chemickém ošetřování je vyžadována vysoká pečlivost a pozornost, aby se zabránilo postřiku sousedního pásu s jinou plodinou (Janeček a kol., 2007).

### 5.5.2 Opatření agrotechnického charakteru

Půda se připravuje mechanickým zpracováním, s ohledem na ochranu před vodní erozí se nesmí porušit půdní struktura. Měla by se podpořit vsakovací schopnost půdy, chránit povrch půdy před přívalovými srážkami a udržet příznivá půdní vlhkost. Obdělávací úkony, které ničí drobtovitou strukturu, se musí co nejvíce omezit (Holý, 1978).

Zemědělské plodiny Janeček a kol., 2007 rozděluje do tří kategorií podle toho, jak chrání půdu před vodní erozí.

- Plodiny, které mají vysoký protierozní účinek po celou dobu vegetačního období jsou travní porost, jetelotrávy, jeteloviny.
- Plodiny, které mají vysoký protierozní účinek po větší část vegetačního období jsou obiloviny, meziplodiny, luskoviny.
- Plodiny, které mají nízký protierozní účinek převážnou část vegetačního období jsou kukuřice, brambory, cukrová řepa.

Mezi opatření agrotechnického charakteru patří (Janeček a kol., 2007; Podhrázská, Dufková, 2005):

- Protierozní agrotechnologie na orné půdě
  - Výsev do ochranné plodiny, strniště, mulče, posklizňových zbytků.
  - Hrázkování a důlkování povrchu půdy.
- Protierozní agrotechnologie ve speciálních kulturách
  - Zatravnění meziřadí.
  - Krátkodobé porosty v meziřadí.
  - Mulčování.
  - Hrázkování a důlkování povrchu půdy v meziřadí.

#### 5.5.2.1 Setí po vrstevnici

Významným způsobem lze přispět k ochraně půdy orbou po vrstevnici nebo s menším odklonem od vrstevnice otočnými pluhy, které otáčejí půdu proti svahu. Realizace dalších agrotechnických procesů (jiná kultivace, sklizeň) po směru vrstevnic přispívá k ochraně půdy.

#### 5.5.2.2 Ochranné obdělávání

Ochranné obdělávání spočívá v uchování co největšího množství posklizňových zbytků po předplodinách na povrchu půdy vytvářením tzv. nastýlky neboli mulče, který umožňuje vývoj půdního profilu přirozeným způsobem. Chrání před nadměrným provzdušňováním, díky kterému půda přichází o humus a zhoršují se fyzikální vlastnosti půdy. Výška a rovnoměrnost mulče ovlivňuje stupeň ochranného vlivu půdy. Existuje několik možností ochranného obdělávání.

#### 5.5.2.3 Přímé setí do mulče z rostlinných zbytků předplodin

Výsev do posklizňových zbytků předplodiny zanechané na povrchu zemědělské půdy, na podzim se půda nezpracovává, na jaře probíhá výsev přesným secím strojem pro přímé setí do nezpracované půdy. Odstranění plevelu se uskutečňuje použitím herbicidů, protože se jedná o bezorebnou technologii.

#### 5.5.2.4 Přímé setí do přezimující a vymrzající meziplodiny

Tato technologie zpracovává půdu na podzim kypřením nebo orbou. Může dojít k zaorání organických hnojiv, hned poté se vyseje meziplodina a na jaře se provede výsev speciálním secím strojem pro přímý výsev.

#### 5.5.2.5 Setí do mulče meziplodin

Jako zdroj mulče se používá nadzemní biomasa meziplodin strniskových (meziplodiny umrtvené mrazem) nebo ozimých (plodiny umrtvené chemicky).

#### 5.5.2.6 Výsev ochranné podplodiny v pásech a meziřadích (podsev)

Při pěstování tradiční kukuřice je nejjednodušším protierozním opatřením zasetí obilných pásů (vhodný je ozimý ječmen) po vrstevnicích na ohrožených pozemcích. Další možné protierozní opatření je vysetí kukuřice s ochranou podplodinou (vhodné je ozimé žito v meziřadích).

#### 5.5.2.7 Hrázkování a důlkování

Technologie hrázkování se používá při pěstování brambor, jedná se o vytvoření ochranných hrázek v meziřadí hrůbků. Speciální stroj hrázkovač založí ve stejné vzdálenosti hrázky mezi hrůbky, tím vznikne řada malých akumulčních příkopů, které brání vzniku soustředěného povrchového odtoku. Tyto akumulční příkopy by měly být vedeny po vrstevnicích a podporují zadržení vody přímo na konkrétním zemědělském pozemku.

Důlkování je velmi podobné technologii hrázkování, akorát místo hrázek jsou vytvářeny důlky. Vytváří se důlky v meziřadí ve vzdálenosti 30-40 cm pomocí speciálního stroje důlkovače, dochází k tomu hned po výsadbě brambor. Tato technologie také pomáhá zadržet vodu přímo na pozemku. Pro obě technologie sázení brambor platí, že řádky by měly být vedeny vrstevnicově a zároveň nepřerušovaná délka pozemku po svahu by neměla být delší než 300 m.

#### 5.5.3 Opatření technického charakteru

Tato technická opatření jsou základním prvkem komplexního systému protierozních opatření. Vznikají obvykle na místech, kde je ohrožená část obce následky soustředěného nebo plošného povrchového odtoku. Účinnost technických opatření se zvyšuje pomocí opatření organizačních a agrotechnických (Novotný a kol., 2014).

Tato opatření slouží k odstranění terénních příčných nerovností a snížení podélného sklonu velmi svažitéch pozemků. Chrání zemědělskou půdu před cizí vodou např. vytékající z lesních porostů. Opatření technického charakteru se používá také k neškodnému odvedení povrchových vod z povodí, k retardaci povrchového odtoku a zachycování smyté půdy, k ochraně intravilánu obcí a komunikací před velkou škodou způsobenou povrchovým odtokem nebo smytou půdní hmotou.

Mimo tyto základní funkce mají i další vedlejší funkce. Technologická opatření, doplněná o doprovodnou zeleň, mají význam estetický a ekologický. Liniové technické protierozní prvky s kombinací s dřevinnou zelení v krajině mohou fungovat jako součást územního systému ekologické stability krajiny. V rámci procesu pozemkových úprav se realizuje komplexní systém ochranných opatření v povodí (Janeček a kol., 2008).

Mezi technická protierozní opatření patří podle Janečka a kol., 2008:

- Zemní úpravy
  - Terénní urovnávky
  - Protierozní meze
  - Stupňovité terasy
  
- Hydrografické prvky
  - Protierozní příkopy
  - Protierozní průlehy
  - Zatravněné údolnice
  - Protierozní hrázky
  - Protierozní nádrže

#### 5.5.3.1 Stupňovité terasy

Tento typ protierozního opatření se používá na pozemcích strmých o sklonu nad 20 % / 11°, které by jinak nešlo využít pro pěstování zemědělských plodin. Avšak vytvoření teras znamená velký zásah do přirozených ekologických mechanismů, proto jsou považovány za krajní řešení. Terasy tvoří plošiny a terasové svahy. Tyto svahy jsou zpravidla zatravněny a často doplněny výsadbou keřů a stromů (Janeček a kol., 2012).

#### 5.5.3.2 Terénní urovnávky

Spočívají v likvidaci lokálních nerovností nebo jiných útvarů, které významně ovlivňují směr a soustředění povrchového odtoku. V praxi se jedná o odstraňování mělkých údolnic na zemědělské půdě, realizovat to lze pouze na hlubokých půdách.

#### 5.5.3.3 Protierozní meze

V současnosti se meze budují s důrazem na záchytnou, odváděcí a krajnotvornou funkci. Obvykle je tato mez vytvořena jako mělký příkop případně hrázka, často se jedná o spojení obojího s mírným podélným sklonem po směru vrstevnic. Zpravidla bývá hrázka osázena vhodnou vegetací. Nejdůležitější, jako u podobných technických opatření, je dořešit bezpečné odvedení vody až do recipientu. V minulosti meze vznikaly na hranicích dvou pozemků, protože tam byly ukládány posbírané kameny. Během orby podél vrstevnic, díky opakovanému dlouhodobému posunu půdy směrem dolů a díky orbě po svahu, docházelo k naorávání půdy k hranici shora a odorávání zdola. Kamenů stále

přibývalo a stavěly se do tvaru opěrné zídky kvůli úspoře místa. Hlavní funkce tedy byla snižování podélného sklonu svahu, proto se dřívější meze podobaly protierozním terasám a pro zajištění přerušení povrchového odtoku nebyly vůbec navrhovány (Novotný a kol., 2014).

#### 5.5.3.4 Protierozní příkopy

Zachycují a odvádí povrchovou vodu a splaveniny. Mohou být nezpevněné nebo zpevněné s příčným profilem ve tvaru lichoběžníku. Podle funkce se dělí na tři typy:

- Záchytný příkop

Tento typ protierozního příkopu brání přítoku vnějších vod na pozemek. Cizí vodu zachytí a odvede ji mimo zájmový pozemek až k recipientu. Za vnější plochu může být uvažován les, jiná nezemědělská plocha i sousední zemědělský pozemek.

- Sběrný příkop

Tento typ příkopu je budován přímo v zemědělské pozemku, protože jeho úkolem je zkrátit volnou délku povrchového odtoku tak, aby nedošlo k překročení přípustné ztráty půdní hmoty. Preferují se nezpevněné příkopy, protože se snadněji udržují a jsou levnější.

- Svodný příkop

Tento protierozní typ příkopu slouží jako příjemce neboli recipient příkopů sběrných či záchytných. Svodný příkop musí zachytit vodu ze všech jiných typů příkopů a bezpečně ji odvést až ke konečnému recipientu. Obvykle se jedná o větší zpevněný příkop ve větších sklonech, protože musí překonat velký výškový rozdíl (Janeček a kol., 2008).

#### 5.5.3.5 Protierozní průlehy

Průleh má podobnou funkci jako protierozní příkop. Hlavní rozdíl je, že průleh má menší hloubku a sklon svahů. Aplikuje se na pozemcích se svahem pod 10 %, příčný profil bývá zatravněný. Průleh oproti příkopu bývá přejezdny, ale zase zabírá více prostoru. Obvykle stejně jako u příkopu je žádoucí založit nad průlehem pás trvalého travního drnu, který zachycuje smytou půdní hmotu.

#### 5.5.3.6 Zatravněné údolnice

Zatravněné dráhy povrchového odtoku jsou údolnice, ve kterých dochází k soustředování odtékající vody. Zatravněné údolnice mohou mít dvě různé funkce, buď mohou soustřeďovat a odvádět povrchový odtok z okolních pozemků, nebo mohou být recipientem protierozních průlehů a příkopů. Přejít mezi plochou zemědělské půdy a prostorem zatravněné údolnice je nejrizikovější, proto by mu měl farmář věnovat speciální pozornost. Toto přechodové místo se může velmi snadno obděláváním přetřansformovat na brázdu nebo hrázku, obojí pak zabrání přítoku vody do údolnice a vytvoří podélný odtok po nechráněném povrchu. Každá údolnice by měla být stabilizována travním trvalým drnem, pro vyšší stabilitu se travní drn musí pravidelně sekat a udržovat (Novotný a kol., 2014).

#### 5.5.3.7 Protierozní hrázky

Hrázky bývají umístěné pod záchytným příkopem nebo průlehem, toto uskupení protierozních opatření vytváří protierozní mez. Ochranné hrázky se mohou vyskytovat i samostatně při dolním okraji zemědělského pozemku a chrání tento pozemek před povrchovým odtokem z výše ležících pozemků. Nejdůležitější je u návrhu hrázky vrstevnicové vedení s mírným odklonem, bez odtokových míst, kde by hrozilo nahromadění vody a následné přelítí nebo dokonce protržení.

#### 5.5.3.8 Protierozní nádrže

Jedná se o nejvyšší formy ochrany intravilánu a komunikací před následky pohybu smyté zeminy a povrchového odtoku ze zemědělských pozemků. Nejčastěji se jedná o malé suché nádrže (poldry). Zpravidla se počítá s odtokem ze srážek s opakováním alespoň 1x za 50 let. Ochranná nádrž má dvě funkce, zachytit smytou půdu a transformovat povodňovou vlnu. U nádrží, kde se předpokládá velké množství usazených splavenin, je potřeba vybudovat opatření, které umožní pravidelné čištění retenčního prostoru (Janeček a kol., 2008).



## **6 Větrná eroze**

### **6.1 Definice**

Eolická neboli větrná eroze je proces, při kterém pomocí větru dochází k rozrušování půdního povrchu, k odnosu uvolněných půdních částic a k jejich ukládání na novém místě (Pasák, 1984). Kinetická energie větru způsobuje rozrušování půdy, k transportu a ukládání uvolněných částic dochází při poklesu energie vzdušného proudění.

Větrná eroze se nejčastěji vyskytuje v aridních a semiaridních oblastech, je možné se s ní setkat i v humidních oblastech, na suchém území nekrytém vegetací (Holý, 1978). Eroze se může vyskytovat po celý rok, nejvíce škod však způsobuje na jaře, kterému předcházela suchá sněhem chudá zima. Působením silného větru dochází ke strhávání vyschlé ornice na holých zemědělských pozemcích. Na podzim povrch zemědělské půdy opět není chráněn vegetací, tak se znovu zvyšuje výskyt větrné eroze. Zvýšený výskyt eroze se může projevovat i v zimě v případě, že půdní povrch není zamrzlý a chráněn vrstvou sněhu (Liu a kol., 2017).

### **6.2 Třídění**

Větrná eroze na rozdíl od vodní eroze působí na celou plochu pozemku, pouze ve výjimečných případech v pruzích ve směru proudění větru. Rozlišujeme dvě formy eroze deflaci a korazi.

#### **6.2.1 Deflace**

Deflace popisuje odnos uvolněných půdních částic větrem. Způsobuje přemístění půdních částic na různé vzdálenosti.

#### **6.2.2 Koraze**

Koraze pojmenovává proces, při kterém dochází k obrušování hornin půdními částicemi podléhajícími deflaci. Výskyt a intenzita koraze závisí na odolnosti materiálu, druhu a tvaru částic neseným větrem a na rychlosti větru. Nejvíce postižené jsou lehce opracovatelné horniny jako je například pískovec (Holý, 1978).

Rozlišit se také dají typy pohybu transportovaných půdních částic při procesu deflace i koraze. Půdní částice mohou být přemístěny třemi způsoby:

- Pohyb ve formě suspenze
  - Unášeny jsou velmi jemné částice (<0,01 mm), desítky až stovky metrů vysoko a transportovány na velmi vzdálené území. Postihuje to malé procento půdy, ale jedná se o její nejúrodnější a nejcennější část.
- Pohyb skokem (Saltací)
  - Saltací se přemísťují částice o velikosti 0,1 – 0,4 mm, které rozbíjejí půdní agregáty a ničí klíčící mladé rostliny. Odnoš částic probíhá v maximální výšce 30 cm nad půdním povrchem, a takto transportováno je 50 % – 80 % celkové uvolněné půdy větrnou erozí.
- Pohyb ve formě sunutí po povrchu
  - Odnášeny jsou částice o velikosti 0,5 – 2 mm, které tvoří cca čtvrtinu objemu erodované půdy (Janeček a kol., 2002).

### 6.3 Příčiny

Větrná eroze vzniká meteorologickými a půdními faktory, které definují ohroženost půd větrem, tzv. erodovatelnost. Do těchto meteorologických faktorů patří větrné poměry, četnost a intenzita srážek a výpar. Do zmíněných půdních faktorů patří vlhkost půdního prostředí a obsah nerodovatelných a jílovitých částic v půdě. Velmi důležitý faktor ovlivňující větrnou erozi je rychlost větru. Trvání a směr větru má také významnou roli při vzniku eroze. Rychlost větru, při které dochází k větrné erozi nad přípustnou mez, se nazývá kritická rychlost (Tab. 1). Pro každý půdní druh jsou hodnoty kritické rychlosti odlišné (Janeček a kol., 2002).

Kritické rychlosti větru		
Druh půdy	Suchá půda [rychlost půdy m.s <sup>-1</sup> ]	Vlhká půda [rychlost půdy m.s <sup>-1</sup> ]
Písčítá	3,3	8,0
Hlinitopísčítá	3,3	20,0
Písčitohlinitá	6,4	11,3
Hlinitá	22,0	22,0

Tab. 1 Kritické rychlosti pro odlišné druhy půd (Janeček a kol., 2002)

Vznik a intenzita větrné eroze je ovlivňována mnoha činiteli. Podhrázská a kol., 2013 uvádí, že mezi ně patří tyto faktory:

- Klimatické podmínky
  - Rychlost a směr větru
  - Úhrn srážek
  - Teplota a vlhkost vzduchu
- Půdní a geologické faktory
  - Povaha horninového substrátu
  - Půdní druh a typ
  - Velikost a tvar půdních částic
  - Drsnost půdního povrchu
- Vegetační faktory
  - Pokryv půdy rostlinami či rostlinnými zbytky
- Geomorfologické faktory
  - Tvar a rozložení svahů
  - Výskyty plání a závětrných míst
- Antropogenní faktory
  - Délka a orientace pozemku k převládajícímu směru větru
  - Způsob hospodaření na pozemku,
  - Možnost závlahy půdy

Významný půdní faktor mající vliv na transport půdních částic větrem je zrnitost půdy. Rozhodující je velikost půdních částic, rozdíly ve tvaru částic mají malý vliv (Huawei a kol., 2019). Chepil, 1958 stanovil na základě výzkumů v aerodynamickém tunelu hranici mezi půdními částicemi, které jsou náchylné k odnosu a odolnými půdními částicemi. Tato hranice je 0,84 mm a označil ji jako tzv. kritické minimum.

Janeček a kol., 2002 uvádí, že odnosu větrem nejvíce podléhají částice půdy o velikosti 0,25 – 0,4 mm. Čím je vyšší obsah jílnatých částic, tím je vyšší odolnost těchto půd vůči větrné erozi (Tab. 2). Nejvíce náchylné půdy jsou půdy lehké (písčité a hlinitopísčité), nižší náchylnost k erozi je u středně těžkých půd (písčitohlinité, hlinité, jílovitohlinité), nízká až velmi nízká ohroženost je u půd těžkých (jílovitých a jílu). Existuje specifický případ, kdy je v kombinaci klimatických podmínek podmíněn rozpad

jílovité půdy na částičky, které pak po zimě před setím jařin mohou být erodovány i přes to, že jde o půdy těžké.

Tato anomálie vzniku větrné eroze na těžkých půdách se vyskytuje v oblasti Bánov a Suchá Loz (Bílé Karpaty) a na území Klapý (Litoměřicko) (Vrána a kol., 1998).

Přenos půdních částic větrem	
Průměr velikosti půdních částic [mm]	Vzdálenost přenosu
0 – 1	Několik metrů
1 – 0,125	1 – 1,5 km
0,125 – 0,0625	Několik kilometrů
0,0625 – 0,0312	Přes 300 km
0,0312 – 0,0156	Přes 1500 km
Pod 0,0156	Neomezeně

Tab. 2 Přenos půdních částic větrem (Eagri, 2020)

Vlhkost půdy je také významný faktor při výskytu větrné eroze. Vlhkost ovlivňuje přímo erodovatelnost půdy tak, že způsobuje odolnost kohezní silou mezi částicemi a nepřímo ovlivňováním hrudovitosti a tvorbou povrchového škraloupu, který chrání půdní povrch před narušením a snižuje množství odnesených částic. Největší transport půdních částic se vyskytuje u suchých, rovných jemných prašných půd. Druhotné agregáty vznikají při častém ovlhčování půdy a jejím prudkém vysychání (Avecilla a kol., 2015).

## 6.4 Důsledky

Větrná eroze způsobuje škody na zemědělských pozemcích, dochází k odnosu ornice, osiv, hnojiv, pesticidů a k ničení mladých zemědělských kultur. Škody vytváří i v dalších odvětvích, dochází k zanášení komunikací a k znečištění ovzduší jemnými částicemi půdy, které při vysoké koncentraci mohou způsobit onemocnění plic a očí u lidí i hospodářských zvířat. Jemné částice se mohou dostat do motoru strojů a automobilů a snížit jejich životnost (Podhrázká, Dufková, 2005).

Dochází také ke zvýšení obsahu chemických látek v ovzduší, pocházejících z odnosu částic aplikovaných hnojiv a pesticidů. V současnosti se také začíná řešit znečištění ovzduší mikroplasty, ke kterému může okrajově přispívat větrná eroze (Rezaei a kol., 2019).

V České republice jsou eolizací, neboli procesem větrné eroze, postiženy nejúrodnější oblasti, v Česku je náchylných 23 % zemědělské půdy a na Moravě až 40 % (Pasák, 1948).

## **6.5 Protierozní opatření**

### **6.5.1 Opatření organizačního charakteru**

#### 6.5.1.1 Délka a tvar pozemku

Toto organizační opatření se týká uspořádání zemědělských pozemků. Měly by být situovány do obdélníkového tvaru s delší stranou kolmou na směr převládajícího směru větru. Současně všechna kultivační a protierozní opatření proti eolizaci by měla být vedena ve směru kolmém na směr převládajícího větru. Šířka pozemku by neměla přesáhnout 50 metrů na písčitých půdách nechráněných vegetací ve směru převládajících větrů.

#### 6.5.1.2 Protierozní rozmístování plodin

Využívá se přirozená odolnost vůči erozi některých plodin. Zemědělské plodiny se mohou rozlišovat podle míry odolnosti vůči erozi do tří kategorií:

- Plodiny odolné
  - Travní porosty, víceleté pícniny, ozimé obiloviny
- Plodiny středně odolné
  - Jarní obiloviny, řepka ozimá
- Plodiny málo odolné
  - Okopaniny, slunečnice, kukuřice, speciální plodiny

#### 6.5.1.3 Pásové střídání plodin

Snížení erozního účinku lze docílit tak, že jsou vloženy různě široké pásy plodin odolných proti erozi do pěstované plodiny, která je málo odolná vůči erozi. Efektivnost tohoto opatření lze zvýšit pěstováním odlišně vysokých zemědělských kultur na jednom pozemku.

#### 6.5.1.4 Protierozní směr výsadby

Plodiny s řádkovým výsevem by měly být situovány kolmo ke směru převládajícího větru, tímto opatřením lze dosáhnout zmírnění negativního účinku větrné eroze (Duniway a kol., 2019).

## **6.5.2 Opatření agrotechnického charakteru**

### **6.5.2.1 Ochranné obdělávání půdy**

Ochranné obdělávání funguje na principu zachování největšího množství posklizňových zbytků po předplodinách na povrchu půdy. Vytvoří se mulč neboli nastýlka, který chrání půdu před erozí a podporuje zachování přirozených funkcí a vlastností půdy.

Nejvýznamnější opatření tohoto typu k ochraně před větrnou erozí jsou dvě, setí plodin do posklizňových zbytků ponechaných na půdním povrchu a setí plodin do ochranných meziplodin. Z výzkumů bylo zjištěno, že má větší protierozní účinek ponechat zbytky plodin vzpřímeně zakotvené v půdě, než volně položené na povrchu půdy (Janeček a kol., 2012).

Existuje také metoda pravidelného zeleného hnojení. Princip této metody spočívá v nenechání půdy bez vegetace. Před i po sklizni hlavní plodiny na půdě vždy musí být přítomna jiná plodina. Vzniká užitečný kryt půdy, který poskytuje půdě nové živiny a čas na revitalizaci a dezinfekci, zároveň snižuje rychlost větru při povrchu půdy, kde je větrná eroze nejčastější (Duniway a kol., 2019).

### **6.5.2.2 Strukturotvorné látky a vlhkostní režim**

Písčité půdy je možno chránit před silou větru pomocí tzv. strukturotvorných látek, které na povrchu vytvoří druhotné agregáty. K vytvoření druhotných agregátů lze využít sypké jílovité nebo hlinité zeminy, rybníční bahno, cukrovarnické kaly a komposty. Lehké půdy jsou náchylnější k odnosu částic, když jsou suché, proto je důležité udržovat vlhkostní režim pomocí mulče, zavlažování a udržení sněhu na pozemku (Janeček a kol., 2012).

## **6.5.3 Opatření biotechnického charakteru**

### **6.5.3.1 Přenosné umělé zábrany**

Přenosné zábrany se používají pro dočasnou ochranu plodin náchylných k větrné erozi. Tyto přenosné ploty proti větru se vyrábí z odpadních prken, rákosu, odpadních hliníkových folií a podobného materiálu. Obvykle bývají nízké, mají malou účinnost a používají se pro ochranu menších ploch.

### 6.5.3.2 Ochranné lesní pásy

Ochranné lesní pásy jsou považovány za nejúčinnější opatření na ochranu před větrnou erozí. Holý, 1994 rozlišuje ochranné lesní pásy z hlediska účelu:

- Větrolamy
  - Jsou označovány za úzké pásy lesa založené z důvodu ochrany území před deflací, poškozením mladých plodin a snížením výparu vody z půdního prostředí.
- Vsakovací lesní pásy
  - Jsou vypěstovány k zachycení vody a převedení do půdy.
- Zastiňovací lesní pásy
  - Slouží k ochraně svahů před osluněním a vedou ke vzniku přirozené vegetace ochraňující půdu před eolizací.

Podhrázská, 2008 rozlišuje pojmy související s ochrannými lesními pásy takto:

- Větrolam
  - Je považován za jakoukoliv trvalou dřevinnou liniovou vegetaci, vysázenou bez odborných znalostí s úmyslem ochrany před mechanickou silou větru. Patří sem ochranný lesní pás ale i alej, stromořadí, dřevinná vegetace kolem staveb, živé ploty na lesních i nelesních pozemcích.
- Liniový prvek
  - Je definován jako jakákoliv dřevinná vegetace na lesním i nelesním pozemku. Zahrnuje dřeviny v liniích, které nebyly primárně určeny k ochraně před větrnou erozí, ale může to být jejich druhotná funkce. Můžou to být biokoridory, břehové porosty, stromořadí, aleje a keřové pásy, které plní různé ekologické funkce v krajině.
- Ochranný lesní pás
  - Označuje dřevinnou vegetaci, která primárně slouží k ochraně před větrnou erozí a současně je vysázena na pozemcích určených k plnění funkcí lesa. Výsadba, struktura a parametry dřevin byly realizovány odborníky na ochranu před větrnou erozí.

Účinnost větrolamu závisí na mnoha faktorech, nejdůležitější je struktura, která je určena výškou a porozitou (propustností) větrolamu (Podhrázská, 2008). Rozhodující je i volba vhodných dřevin. Voleny by měly být dřeviny, které brzy zajistí účinnost, doplněné

o dlouhověké stromy, které se časem stanou nosnými. Pro keře i stromy ve větrolamu platí, že by se měly používat druhy odpovídající místním přírodním podmínkám (Janeček a kol., 2012).

Větrolamy se obvykle dělí do tří kategorií dle vegetace a propustnosti (Janeček a kol., 2007; Podhrázská, 2008):

- Proudovavý
- Neproudovavý
- Poloproudovavý

Proudovavý typ větrolamu je složený z jedné či dvou řad stromů, keřové patro zde není. Od tohoto typu větrolamů se ustupuje, protože může dojít k tryskovému efektu v kmenovém prostoru stromořadí. Proti silnému větru poskytuje nízkou ochranu.

Neproudovavý typ větrolamu má plochu složenou z více řad stromů, keřové patro se zde vyskytuje. Na návětrné straně i závětrné straně dochází k vytvoření uzavřené stěny, tímto větrolamem neprochází žádný silnější vítr, ale proudící vzduch jej obtéká. Rychlost klesá více než u typu poloproudovavého, ale na kratší čas. Na návětrné straně rychlost klesne až na 60 % původní rychlosti, za linií klesne až na nulu a vytvoří se na krátkou vzdálenost tišina, poté rychlost větru naroste až na svou původní hodnotu. Nevýhodou tohoto typu je mírný přetlak na návětrné straně a podtlak na závětrné straně, který může způsobit turbulence. Negativní je i hromadění navátin uvnitř pásů a v létě vzestupné teploty na návětrné straně.

Poloproudovavý typ větrolamu je složen z více řad stromů, ale keřové patro má menší zapojení nebo korunová vrstva je v menší míře. Tento typ je nejvýhodnější, protože dochází k obtékání proudícího vzduchu, ale i k prostupování vegetací. Díky těmto vlastnostem je zabráněno nežádoucím turbulencím. Na základě zmíněného složení vzniká ideální propustnost větru 40 % – 50 %. Ukládání navátin je rovnoměrné a dochází k menšímu záboru orné půdy při dosažení maximálního účinku (Janeček a kol., 2007; Podhrázská, 2008).



## **7 Legislativa ochrany půdy**

### **7.1 Právní předpisy České republiky**

#### **7.1.1 Ochrana zemědělského půdního fondu**

Česká republika se potýká se ztrátou zemědělských parcel pro novou výstavbu. Úbytek orné půdy činí přibližně 25 ha denně dle údajů z Katastru nemovitostí. Současně dochází k nadměrnému úbytku ornice, a proto je důležité, aby se společnost soustředila na kontrolu záboru půd pro výstavbu, zadržování vody v krajině, ale i na nevhodné postupy při pěstování zemědělských kultur (Janků a kol., 2016). Hlavním právním předpisem zajišťujícím ochranu půdy je zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, který řeší jak kvantitativní, tak kvalitativní ochranu zemědělského půdního fondu. Přesná definice zemědělského půdního fondu je v § 1 zákona č. 334/1992 Sb. v odst. 1–4.

Zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, popisuje definici a vše co patří do zemědělského půdního fondu. Zemědělský půdní fond je základním přírodním bohatstvím, nenahraditelným výrobním prostředkem umožňujícím zemědělskou výrobu a patří mezi hlavní složky životního prostředí. Tvoří ho pozemky zemědělsky obhospodařované, jako je orná půda, chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady, trvalé travní porosty a půda, která byla a má být zemědělsky obhospodařována, ale dočasně obdělávána není. Náleží do něj také rybníky s chovem ryb nebo vodní drůbeže a nezemědělská půda potřebná k zajišťování zemědělské výroby, jako například polní cesty, pozemky se zařízením důležitým pro polní závlahy, závlahové vodní nádrže, odvodňovací příkopy a protierozní opatření technického charakteru.

Tento právní předpis se zabývá změnami kultur zemědělské a nezemědělské půdy, hospodařením na zemědělském půdním fondu, zásadám odnětí půdy z tohoto fondu a kompetencí orgánů státní správy. Podrobnosti týkající se kompetence orgánů ochrany zemědělského půdního fondu a orgánů územní samosprávy jsou ve vyhlášce č. 13/1994 Sb. Ministerstva životního prostředí. V § 3 odst. 1 písm. b. zákona č. 334/1992 Sb. je zakázáno způsobovat ohrožení zemědělské půdy zrychlenou erozí. Nesmí být překročena přípustná míra erozního ohrožení, která se stanovuje podle průměrné dlouhodobé ztráty půdy vyjádřené v tunách na 1 ha za rok v závislosti na hloubce půdního prostředí. Přípustnou míru erozního ohrožení a protierozní opatření ke snížení míry ohroženosti zemědělské půdy stanoví Ministerstvo životního prostředí vyhláškou. Zákon se vztahuje na všechny vlastníky a uživatele zemědělských pozemků.

Protierozní ochrana půdy je v současnosti nedostatečně právně popsána a vyžadována. V případě čerpání státní finanční podpory by měly být dodržovány povinné standardy organizace Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (DZES). Vodní eroze je řešena standardem DZES 5, kde jsou kritéria nastavena poměrně mírně a zároveň se tyto povinnosti týkají pouze těch, kteří čerpají dotační podporu. V praxi to znamená, že farmář může čerpat finanční podporu, ale v případě erozních škod nemusí být postihován (Janků, 2019).

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd v.v.i. ve spolupráci se Státním pozemkovým úřadem a Ministerstvem zemědělství spustil webovou aplikaci, která monitoruje erozi zemědělské půdy v celé České republice. Je to nástroj pro sběr dat o erozních událostech a hodnocení účinnosti protierozních opatření popsanych v platných právních předpisech. Také se shromažďují informace o erozních škodách s tím, že když někdo škodu způsobí, může být jeho pozemek přeřazen do vyšší kategorie ochrany, a tedy pak musí plnit více požadavků na ochranu půdy. Tento sběr dat se zabývá především vodní erozí, pro větrnou erozi zatím žádný podobný projekt nevznikl (Kapička, Žížala a kol., 2018).

Deset základních částí zákona č. 334/1992 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu jsou:

- Zemědělský půdní fond
- Změna využití zemědělské půdy a zásady ochrany zemědělské půdy
- Zásady plošné ochrany zemědělského půdního fondu
- Ochrana zemědělského půdního fondu
- Odnětí půdy ze zemědělského půdního fondu
- Odvody za odnětí ze zemědělského půdního fondu
- Výkon státní správy v oblasti ochrany zemědělského půdního fondu
- Zvláštní ustanovení
- Přestupky
- Ustanovení společná, přechodná a závěrečná

### **7.1.2 Odvody a odnětí ze zemědělského půdního fondu**

V nezbytném případě lze pozemek vyjmout ze zemědělského půdního fondu, ale přednostně by se mělo pro nezemědělské účely využívat nezemědělskou půdu. Žadatel musí podat žádost, ve které je uveden účel odnětí, vyhodnocení předpokládaných následků

návrhu a zdůvodnění, proč je tento návrh z hlediska životního prostředí, ochrany zemědělského půdního fondu a ostatních chráněných veřejných zájmů nejvhodnější. Musí také doložit všechny povinné dokumenty k dané lokalitě a záměru. Orgán ochrany zemědělského půdního fondu rozhodne, zdali může být půda odňata či ne. Obvykle vydá souhlas, napíše, kterých pozemků se týká a stanoví podmínky k zajištění ochrany konkrétního zemědělského pozemku. Také musí vymezit, zda a v jaké výši budou přepsány odvody, souhlas není potřeba pouze ve zvláštních případech uvedených v § 9 zákona č. 334/1992 Sb. Půdu je možno odejmout trvale či dočasně. Dočasně vyjmutá půda se po ukončení její funkce musí navrátit do zemědělského půdního fondu podle schváleného plánu rekultivace. Tyto informace vyplývají ze zákona č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu.

Každá osoba oprávněná k odnětí zemědělské půdy ze zemědělského půdního fondu musí zaplatit odvod ve výši stanovené podle přílohy k tomuto právnímu předpisu, výše odvodu závisí na bonitované půdní ekologické jednotce a zařazení do třídy ochrany. V některých výjimečných případech se nemusí stanovit odvody za trvale vyjmutou půdu, tyto případy jsou popsány v § 11a zákona č. 334/1992 Sb. Odvody se procentuálně rozdělují do několika sektorů, 55 % odvodů jsou příjmem státního rozpočtu, 15 % jsou příjmem rozpočtu Státního fondu životního prostředí a 30 % jsou příjmem rozpočtu obce, na jejímž území se odňatá půda nachází. Obec, která získá tyto odvody, je může využít pouze na zlepšení životního prostředí v obci a pro ochranu a rekultivaci přírody a krajiny. Pokud se vyjme území patřící do několika obcí, část odvodů si obec rozdělí mezi sebe podle velikosti plochy odňatého zemědělského pozemku. Toto rozdělení zavedla novelizace zákona v roce 2010, do té doby byly odvody rozděleny pouze mezi obec (40 %) a Státní fond životního prostředí (60 %).

Vyhláška č. 48/2011 Sb. o stanovení tříd ochrany, která vešla v platnost v roce 2011, obsahuje rozdělení kódů bonitované půdní ekologické jednotky do pěti tříd ochrany. Tato vyhláška byla novelizována vyhláškou č. 150/2013 Sb. V roce 2013 také zákon zásadně změnil postup pro výpočet odvodů za odnětí půdy, je popsán v části D přílohy zákona č. 334/1992 Sb. Základní cena zjištěná podle zařazení pozemku do bonitované půdní ekologické jednotky a do oceňovací vyhlášky č. 441/2013 Sb., se upraví podle toho, zda bude odnětím ze zemědělského půdního fondu negativně ovlivněn některý faktor životního prostředí, nebo existuje důvod ke snížení základní sazby. Takto upravená cena se vynásobí koeficientem třídy ochrany, například koeficient první třídy je 9, odvod tedy

může činit až devítinásobek základní sazby pozemku. Cílem této právní úpravy je zpomalit a omezit zábor zemědělské půdy a chránit tím celý zemědělský půdní fond (Janků, 2019).

### **7.1.3 Kontaminace půd**

Uživatelé a vlastníci zemědělské půdy jsou povinni hospodařit tak, aby neznečišťovali půdní prostředí a tím i potravní řetězec, zdroje pitné vody, neohrožovali lidské zdraví, existenci živočichů a vlastnosti půdního ekosystému (zákon č. 334/1992 Sb.). Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 13/1994 Sb., popisuje některé podrobnosti o ochraně zemědělského půdního fondu. Určení nejvyššího přípustného množství obsahu škodlivých prvků a látek v půdě, například pesticidy, aromatické uhlovodíky, chlorované uhlovodíky a těžké kovy, tedy limity škodlivých látek, byly přesunuty do vyhlášky 153/2016 Sb. Pravidelné monitorování obsahu rizikových prvků, látek a evidence kontaminovaných lokalit je uskutečňováno v souladu s vyhláškou Ministerstva zemědělství č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků (Janků, 2019).

### **7.1.4 Aplikace hnojiv, odpadních kalů a sedimentů**

Pravidla užívání hnojiv, opatření při skladování a jejich registraci vysvětluje zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných prostředcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd, tzv. zákon o hnojivech. Omezením užívání dusíkatých hnojiv se zabývá Směrnice Rady č. 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů (tzv. nitrátová směrnice). Vyhláší zranitelné oblasti, které jsou definovány v §33 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách tzv. vodního zákona. Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, vymezuje seznam zranitelných lokalit podle katastrálních území a popisuje konkrétní zásady a pravidla pro používání dusíkatých hnojiv. Z celkové výměry zemědělské půdy v České republice spadá 49 % do zranitelných oblastí (Klír, 2012).

K rekultivaci nebo hnojení zemědělské půdy se používají odpadní kaly z čistíren odpadních vod. Touto činností vzniká riziko vstupu větší koncentrace nebezpečných látek do složek životního prostředí i do potravního řetězce. Z tohoto důvodu se při užití odpadních kalů musí dodržovat pravidla a omezení stanovená v zákoně č. 185/2001 Sb., o odpadech. Přesnější informace jsou uvedeny ve vyhlášce č. 437/2016 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.

Při degradaci půdy se zničí částice půdy nebo jsou odneseny důsledkem eroze. Tyto částice se v některých případech do půdy navrací aplikací sedimentů, avšak zmíněné sedimenty mohou obsahovat vyšší koncentrace škodlivých prvků a látek. Pravidla pro aplikaci sedimentů na zemědělské pozemky vymezuje vyhláška č. 257/2009 Sb. (Janků, 2019).

### **7.1.5 Ekologická újma na půdě**

Vzhledem k velkému počtu znečištěných a kontaminovaných lokalit v Evropě byla vytvořena Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/35/ES o odpovědnosti za životní prostředí. Směrnice nařizuje povinnost původci znečištění napravit negativní změny, které způsobil v životním prostředí. Popisuje možnosti nápravy silně kontaminované půdy, která může ohrožovat lidské zdraví. Na základě této směrnice vznikl český zákon č. 167/2008 Sb., o předcházení ekologické újmy. Právní definice ekologické újmy na půdě je popsána jako „znečištění, jež představuje závažné riziko nepříznivého vlivu na lidské zdraví v důsledku přímého nebo nepřímého zavedení látek, přípravků, organismů nebo mikroorganismů na zemský povrch nebo pod něj“.

V případě existence podezření, že došlo k ekologické újmě v půdním prostředí, krajská hygienická stanice zpracuje analýzu rizik, při potvrzení vzniklé újmy návrh nápravných opatření, který je uskutečněn z finančních zdrojů osoby, která toto znečištění způsobila. Všechny podrobné informace o ekologické újmě jsou uvedeny ve vyhlášce č. 17/2009 Sb., o zjišťování a nápravě ekologické újmy na půdě (Janků, 2019).

### **7.1.6 Ochrana půdy před degradačními faktory**

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (tzv. stavební zákon), vymezuje postupy, nástroje a cíle územního plánování. Na základě tohoto zákona se rozhoduje o umístění a rozsahu plánovaného záměru a vlivu na životní prostředí včetně půdy, tyto rozhodnutí mají zásadní vliv na snížení či zvýšení degradace půdy. Právě nekontrolované zastavování území nepropustnými materiály (Soil Sealing) způsobí, že půda nemůže plnit své přirozené funkce a vede to k trvalé ztrátě půdy a často i té nejurodnější.

Zákon č. 139/2002 Sb., o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech a o změně zákona č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku. Tento právní předpis se zabývá řízením o pozemkových úpravách, vlastnickými vztahy a kompetencí Státního pozemkového úřadu. Obvykle dojde ke změně

prostorové a funkční či k vyrovnání hranic pozemků tak, aby se vytvořily podmínky pro racionální hospodaření vlastníků zemědělských parcel. Realizace pozemkových úprav by měla směřovat k ochraně a zlepšení stavu zemědělského půdního fondu. Současně by měly zajistit vhodné podmínky pro pěstování zemědělských kultur tak, aby byla půda chráněna před degradačními procesy. Pozemkové úpravy slouží jako podklad pro rozhodování v územním plánování (VÚMOP, 2019).

Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, definuje pojmy a základní pravidla pro ochranu životního prostředí a využívání přírodních zdrojů a zároveň vychází z principu trvale udržitelného rozvoje. Pojem půda není samostatně popsán, ale tento zákon jí označuje a chrání jako jednu ze základních složek životního prostředí současně s horninami, ovzduším, vodou, ekosystémy, energií a organismy.

Součástí přírody a krajiny je nepochybně i půdní prostředí, obecná a zvláštní ochrana je popsána zákonem č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. V § 58 je uvedeno, že ochrana přírody a krajiny je veřejným zájmem a každá osoba je povinna akceptovat omezení vyplývající z tohoto zákona. Majitelé pozemků musí strpět omezení vlastnických práv pozemků z důvodu vytváření územního systému ekologické stability.

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (tzv. vodní zákon) má chránit povrchové i podzemní vody. Vodní zákon má široký rozsah a ovlivňuje mimo vodu i další složky životního prostředí, příkladem je půda. V § 27 je uvedena povinnost vlastníků pozemků zajistit péči o ně tak, aby nedocházelo ke zhoršování vodních poměrů. Jsou povinni zabránit nadměrnému odnosu půdních částic erozí a zlepšovat retenční schopnost krajiny.

Zákon č. 252/1997 Sb., o zemědělství, popisuje povinnost vytvářet vhodné podmínky pro podporu mimoprodukčních funkcí zemědělství. Mimoprodukční funkce přispívají k ochraně životního prostředí, k ochraně osídlené a kulturní krajiny a patří sem také ochrana zemědělské půdy. Další funkcí tohoto právního předpisu je vytvořit vhodné podmínky pro zajištění základní výživy obyvatel v České republice, zajistit politiku rozvoje venkova Evropské unie, rozvoj rozmanitých hospodářských činností a zlepšit kvalitu života ve venkovských oblastech.

Zákon č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (tzv. lesní zákon), stanovuje pravidla péče o lesy tak, aby byly zachovány a udržovány v nejlepším

stavu. Podporuje trvale udržitelné hospodaření v lesích a chrání tak půdu nacházející se na lesních pozemcích (VÚMOP, 2019).

## **7.2 Právní předpisy Evropské unie**

Kompetence Evropské unie v odvětví ochrany životního prostředí je určena primárním právem Evropské unie a je podložena smlouvou o fungování Evropské unie. Základní cíle v oblasti životního prostředí jsou stanoveny ve smlouvě o fungování Evropské komise. Tyto cíle jsou rozvíjeny v politických jednotlivých závazných dokumentech, v tzv. akčních programech a plánech (Evropský parlament, 2019). Dne 22. 07. 2002 byl přijat Evropským parlamentem a radou Šestý akční plán pro životní prostředí. V roce 2012 skončila jeho působnost, ale na jeho základě bylo přijato sedm tematických strategií, které pokrývají environmentální oblasti a jejich legislativu. Z těchto sedmi strategií se jedna zabývá ochranou půdy. Tato strategie byla předložena komisi spolu s návrhem rámcové směrnice v roce 2006 (směrnice Evropského parlamentu a Rady o zřízení rámce pro ochranu půdy a o změně směrnice 2004/35/ES). Návrh této směrnice nebyl přijat Evropským parlamentem a potřebný konkrétní legislativní rámec v Evropské unii pro ochranu půd stále chybí (VÚMOP, 2019).

V roce 2013 byl přijat Sedmý akční program pro životní prostředí a platí až do roku 2020. Sedmý akční program stanovuje devět prioritních cílů a ani jeden z nich se detailně nezabývá ochranou půdy. Právní předpisy zabývající se ochranou půdy Evropské unie jsou tak nadále nedostatečné. Po přijetí tohoto programu je otázkou, zdali bude nalezen kompromis, který politické deklaráce změní na závazný právní rámec.

V současnosti je půda chráněna v sekundárních pramenech unijního práva jako jedna ze složek životního prostředí. Ochrana půdy je zahrnuta v ochraně přírody a biodiverzity, konkrétně ve směrnici č. 92/43/EHS, o ochraně volně žijících živočichů, planě rostoucích rostlin a přírodních stanovišť. Také je zahrnuta v nařízení č. 834/2007, které se zaměřuje na méně intenzivní využívání půdy v rámci ekologického zemědělství. Ekologické škody na půdě vymezuje směrnice Rady a Evropského parlamentu č. 2004/35/ES, o odpovědnosti za životní prostředí v souvislosti s prevencí a nápravou škod na životním prostředí.

Regionální politika Evropské unie, pojmenovaná též politika hospodářské a sociální soudržnosti, funguje na principu solidarity uvnitř celé Evropské unie. Bohatší státy přispívají na rozvoj a zlepšení stavu v různých odvětví chudších států. Politika soudržnosti

podporuje regiony v členských státech, které nedosahují 75 % průměru úrovně hrubého domácího produktu (HDP) Evropské unie na osobu a regiony, které mají poškozené životní prostředí a sociálními problémy. Nejdůležitějším nástrojem regionální politiky jsou tři strukturální fondy Evropský fond pro regionální rozvoj, Evropský sociální fond a Fond soudržnosti (neboli Kohezní fond). Finanční zdroje z těchto fondů jsou čerpány prostřednictvím Operačních programů. Na základě této politiky soudržnosti bylo pro období let 2007–2013 přiděleno přibližně 3,1 miliardy EUR na rekultivaci a asanaci průmyslových oblastí a kontaminované půdy. Nejvíce prostředků bylo přiděleno Maďarsku 475 milionů EUR, České republice 371 milion EUR a Německu 332 miliony EUR (VÚMOP, 2019; Evropský parlament, 2019).

## **8 Srovnání erozní situace v České republice a ve světě**

Vodní erozi je ohroženo více než 50 % zemědělské půdy v České republice. Aktuálně stále na velké části tohoto ohroženého území nejsou realizovány žádné systematické protierozní opatření (Novotný, 2014). Česká informační agentura životního prostředí uvádí, že je skutečně ohroženo 36 % orné půdy vodní erozí (z toho silně ohroženo 7 %) a 18 % orné půdy větrnou erozí (z toho silně ohroženo 5 %). Od roku 2010 je zaznamenáno zastavení vývoje trendu protierozních opatření. Pouze některé národní koncepční dokumenty a zemědělská politika Evropské unie se zabývají zlepšením problematiky eroze (Cenia, 2013).

Výzkum provedený v roce 2015 dospěl k závěru, že se Evropská unie může rozdělit do tří sfér podle erodovatelnosti půd. Výzkum byl proveden na základě erodovatelných frakcí (půdní částice o velikosti menší než 0,84 mm). Severní region Evropy má velký podíl (<40 %) erodovatelných frakcí v půdě, proto se řadí mezi nejvíce ohrožené. Střední a východní Evropa má průměrný podíl erodovatelných frakcí (cca 30 %), řadí se ke středně ohroženým. Nejmenší obsah erodovatelných frakcí má středomořský region (cca 20 %). Silně ohrožené půdy větrnou erozí v Evropské unii jsou cca 4 %, středně ohrožené 8 %, slabě ohrožené 20 %, neohrožené 68 %. (Borrelli a kol., 2015).

V roce 2015 Evropská komise schválila Program rozvoje venkova ČR na období 2014–2020. Do českého zemědělství se postupně dostane díky tomuto programu 3,5 miliardy eur, z toho 2,3 miliardy bude pocházet z unijního rozpočtu a 1,2 miliardy z českých zdrojů. Program se primárně zaměřuje na obnovu, zachování a zlepšení ekosystémů závislých na zemědělství pomocí agroenvironmentálních opatření, inovací



a zlepšením konkurence zemědělských firem, motivací a podporou vstupu mladých lidí do sféry zemědělství či krajinářství (Eagri, 2015).

Po celém světě se nachází lokality zemědělsky využívané půdy ohrožené zrychlenou vodní či větrnou erozí. Je to celosvětový problém, protože eroze způsobuje ročně úbytek tisíců km<sup>2</sup> půdy (Novotný, 2014). Mezi nejvíce dotčené země erozí patří Turecko, silnou nebo extrémní erozí je ohroženo 78 % plochy celého státu. V Turecku je eroze významnou hrozbou pro životní prostředí i ekonomiku, přibližně je ročně přemístěno 1,2 miliardy tun půdy a 550 milionů tun půdy se dostane do jezer a moří. Průměrná roční ztráta půdy v Turecku je shodná s ročním množstvím ztráty půdy v celé Evropě a Austrálii. Tato negativní situace je způsobena nevhodnými zemědělskými postupy a nekoordinovaným odlesňováním (Janeček a kol., 2008).

Největší problémy jsou v rozvojových zemích Afriky a Asie, v Evropě je situace závažná v některých částech jižní a střední Evropy. Z výsledků celoevropských metod hodnocení ohroženosti půd erozí vyplývá, že nejohroženější jsou zemědělské pozemky ve Španělsku, Itálii, Sicílii, Sardinii a Řecku. V těchto oblastech jsou příznivé klimatické podmínky, vegetační kryt, reliéf i využití půdy pro erozi, namísto budování systematických protierozních opatření dochází k odlesňování horských oblastí, nadměrnému pěstování a intenzivní pastvě (Boardman, 2006).

Určení rozsahu, vývoje a důsledků zrychlené eroze ve světě je velmi složitý proces. Je odhadováno, že z 10 miliard tun odnesených sedimentů půdy za rok se po přechodu na velkoplošné intenzivní zemědělství zvýšilo na 25–50 miliard tun za rok. V současné době bylo zjištěno, že degradační faktory půdního prostředí způsobují ztrátu úrodnosti zemědělské půdy na ploše 6 milionů hektarů ročně.

Podle Organizace spojených národů produkce plodin na 20 milionech hektarů klesne na nulu nebo se stanou ekonomicky nevýhodné díky působení zrychlené eroze (Janeček a kol., 2007).

## 9 Metodika

### 9.1 Lokalizace měření

V rámci diplomové práce bylo realizováno a hodnoceno 6 měření na odlišných lokalitách zemědělské půdy pomocí mobilního větrného simulátoru neboli větrného tunelu. První měření proběhlo v Tursku, kde byla těžká černozem a hrubší povrch, takže žádné částice při měření nelétaly a ve sběrači se tedy nic nezachytilo. Po prvním měření nebyla zaznamenána ztráta půdy, a proto bylo vyřazeno z toho výzkumu. V této diplomové práci jsou zpracovány výsledky pouze z 5 měření, které se uskutečnily na území České republiky (Obr. 1). Druhé a třetí měření proběhlo na katastrálním území Šardice v okrese Hodonín. Další tři měření proběhly v okrese Praha západ. Čtvrté měření bylo realizováno v katastrálním území Dobrovíz. Páté měření proběhlo v katastrálním území Tursko a šesté měření bylo realizováno v katastrálním území Chýně.



Obr. 1 Čísla vzorků v lokalitách, kde došlo k jejich odběru

## 9.2 Metodika terénního sběru dat

K získání dat byl použit přenosný přístroj, který simuluje větrnou erozi. Tento přístroj se nazývá mobilní simulátor větru neboli větrný tunel. Byl vytvořen ve Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy v.v.i. na oddělení Pedologie a ochrany půdy v rámci řešení projektu NAZV QJ1330121 „Optimální prostorová struktura větrolamů a jejich vliv na aktuální ztrátu půdy větrnou erozí“. Mobilní simulátor větru se skládá z elektrického ventilátoru, měřicí části (tunelu) a odlučovací části (cyklónu) (Obr. 2). Elektrický ventilátor vytvoří rychlost 9 m/s, poté je plocha zemědělského pozemku přiblížena turbulentnímu proudění vhněného vzduchu. V roce 2016 došlo k dokončení vývoje přístroje a byla realizována první měření na odlišných půdních typech. Tento přístroj by měl přispět k získání reálné představy o ztrátě půdy větrnou erozí a podpořit budování nových opatření v krajině, chránících zemědělskou půdu před mechanickou silou větru.



Obr. 2 Popis součástí mobilního simulátoru větru

### 9.2.1 Výběr reprezentativní plochy

Pro instalaci přístroje (mobilního simulátoru větru) musela být určena reprezentativní plocha testovaného zemědělského pozemku. Nejprve byl prozkoumán terén a došlo k vyloučení narušených ploch (zamokřené plochy, koleje od strojů, polní cesty apod.). Poté byl nainstalován tunel zpravidla delší stranou po směru převládajícího větru. Zároveň byl instalován primárně rovnoběžně s viditelnými agrotechnickými opatřeními. Simulace probíhala na ploše bez vegetace, maximálně bylo možno měřit s vegetačním krytem zasahujícím do poloviny výšky tunelu.

### 9.2.2 Popis půdních jednotek

Popis půdního profilu byl realizován pomocí sondy, která byla vpíchnuta do půdy pomocí sondovací tyče (Obr. 3). Po jejím vytažení bylo zaznamenáno místo vpichu přístrojem GPS, vytvořila se fotodokumentace sondy s půdním metrem a proběhnul popis půdního profilu do zjednodušeného polního půdního záznamu.



Obr. 3 Fotografie půdní sondy s půdním metrem

### 9.2.3 Odběr půdních vzorků

Byly odebrány čtyři odlišné půdní vzorky pro vyhodnocení dalších půdních faktorů v laboratoři:

- Porušený vzorek ze svrchního horizontu (cca 3–20 cm), hmotnost cca 1,5 kg.
- Neporušený vzorek (1x Kopeckého váleček) z prvního horizontu.
- Porušený vzorek zeminy (váženka) z povrchové vrstvy půdy (0–3 cm).
- Neporušený vzorek struktury z povrchové vrstvy půdy (0–3 cm) do plastového boxu.

### 9.2.4 Sestavení přístroje v terénu

Mobilní simulátor větru je složen z elektrického ventilátoru poháněného agregátem (palivo Natural 95), propojovacího rukávu, měřicí části (větrným tunelem o rozměrech 0,6 x 0,3 x 2 m, tj. ověřovaná plocha 1,2 m<sup>2</sup>), výstupního hrdla, hadice a cyklónu.

Nejprve byla v terénu položena měřicí část na proměřovanou plochu a na vstup měřicí části větrného tunelu se upevnil rukáv spojující tuto část s ventilátorem. Rukáv není na obou stranách stejně široký, na vstup do větrného tunelu se tedy upevnila užší část rukávu.

Poté byl přes dubové prkno zatlučen tunel tak, aby při simulaci nepodfukoval (nejlépe cca 5 cm pod povrch terénu). Následně byl k hraně výstupní strany tunelu přiložen vymežovací plech, palicí byl zatlučen do země a tím byla určena (ukončena) plocha měření.



Část půdy byla odhrabána pro umožnění instalace výstupního hrdla. Poté na výstup tunelu bylo přiloženo a zpuštěno výstupní hrdlo.

Výstupní hrdlo bylo zatlačeno do půdy tak, aby jeho spodní část byla cca 3 cm pod povrchem terénu. Následně byl spojen tunel s výstupním hrdlem pomocí šroubů.

Nyní byl do systému zapojen ventilátor. Nejprve byl stabilizován zasunutím podpěr, poté byla na jeho kruhový výstup stahovákem upnuta širší část rukávu a ventilátor byl odtáhnut od tunelu tak, aby došlo k napnutí rukávu. Ke zdroji byl ventilátor zapojen prodlužovacím kabelem.

Ke konci tunelu byl umístěn cyklón, k němu bylo napojeno hrdlo zakončující propojovací hadici. Následně došlo ke vztyčení cyklónu. Volná část hadice byla připojena do výstupního hrdla, nasadila se na hrdlo a stáhla se stahovákem. Za výstupním hrdlem musela být hadice položena 1 m na zemi, poté stoupala k cyklónu, který musel být v odpovídající vzdálenosti. Tímto bylo sestavení dokončeno a byla spuštěna samotná simulace větru. Jednotlivé fáze sestavení mobilního simulátoru větru byly zaznamenány ve fotodokumentaci Obr. 4.



1. Umístění a připevnění rukávu na vstup



2. Zatlučení tunelu a vymezení plechu



3. Odhrabání půdy pro instalaci výstupního hrdla



4. Přiložení a zatlačení výstupního hrdla



5. Spojení tunelu s výstupním hrdlem



6. Připevnění a zapojení ventilátoru na rukáv



7. K výstupu tunelu je umístěna hadice a cyklón



8. Hadice se připevní k výstupnímu hrdlu

Obr. 4 Fotodokumentace jednotlivých fází sestavení větrného simulátoru  
(Projekt QJ1330121, 2017)



### 9.2.5 Popis způsobu měření – simulace

Na jednom hodnoceném místě bylo realizováno 2x za sebou odlišné měření. Byly provedeny dvě varianty měření:

- Varianta I.

Byl hodnocen přirozený stav půdy bez úpravy povrchu.

- Varianta II.

Po proměření varianty I. bylo odmontováno plexisklo kryjící svrchní část tunelu, pomocí ručních hrabiček byl rozrušen a prokypřen vysušený povrch půdy do hloubky přibližně 2 cm (Obr. 5). Poté byl povrch uválen válcem ve směru větru do roviny (Obr. 6). Touto variantou II. bylo dosaženo standardizace půdních podmínek.

Obě varianty byly od začátku do konce proměřovány při konstantní maximální rychlosti 9,2 m/s, tj. 32,5 km/hod. (otočení regulátoru a ukazatele napětí na 220 V). Každá varianta byla proměřována po dobu 15 minut.



Obr. 5 Kypření povrchu



Obr. 6 Povrch po uválení

### 9.2.6 Odběr odvátného sedimentu

V průběhu měření byl odvátný sediment zachytáván ve výstupní hadici (těžší podíl) a v cyklónu (prach). Po ukončení měření bylo nutné tyto dvě frakce shromáždit a následně analyzovat v laboratoři.

- Odběr z cyklonu

Před začátkem měření byla pod cyklon vložena miskovitá nádoba, která byla podložena tak, aby se dnem dotýkala vstupního otvoru ve spodní části cyklónu. V průběhu měření cyklón tímto otvorem nasával díky vzniklému podtlaku. Po skončení měření se

muselo počkat přibližně 5 minut na sedimentaci nejjemnějších částic. Následným poklepáním gumovou paličkou na kónickou část cyklónu se uvolnil sediment zadržený ve vnitřním plášti.

- Odběr z výstupní hadice

Po ukončení měření byla odmontována výstupní hubice od výstupního hrdla a její obsah byl vysypán do plastové nádoby (Obr. 7). Tyto zachycené půdní částice byly přemístěny do plastové krabičky, která byla označena databázovým číslem, místem odběru, datem měření a variantou (Xa – přirozený stav, Xb – po standardizaci) a byla uložena pro následné analýzy v laboratoři (Obr. 8).



Obr. 7 Částice odloučené cyklónem



Obr. 8 Detail odvátého sedimentu

## 9.3 Analýzy půdy a sedimentu

### 9.3.1 Stanovení Cox (půda, sediment)

Stanovení oxidovatelného uhlíku (Cox) je základní parametr, který charakterizuje obsah organické hmoty v půdě. Odumřelá půdní organická hmota je v různém stupni rozkladu a syntézy, jejíž část je vázaná na minerální složku půdy.

Princip analýzy Cox v půdě (Zbíral a kol., 2011):

- Vzorek byl sušen v misce po dobu 2 hodin při teplotě 105 °C.
- Po vychladnutí vzorku do vyžíhaného a zváženého kelímku bylo vloženo 0,001 g vysušeného vzorku.
- Kelímek se vzorkem byl žihán po dobu 1 hodiny při teplotě 550 °C.
- Po vychladnutí byl kelímek zvážen.
- Podle rozdílu hmotností před a po žihání bylo vypočteno % Cox v půdním vzorku.



### 9.3.2 Stanovení „primární organické hmoty“ (sediment)

Během měření bylo zjištěno, že z měřené plochy není odnášena pouze zemina, ale také „primární organická hmota“, tedy zbytky rostlin, kořínky apod. (Obr. 9). Jelikož je tato složka odváděna vzorku při hodnocení obsahu uhlíku v sedimentu (metoda Cox) eliminována díky prosívání vzorku, byl pro popis množství této „primární organické hmoty“ navržen tento postup:

- Obsah plastové krabičky byl vysypán se sedimentem na filtrační papír umístěný na váze (jemný podíl byl vymeten štětečkem).
- Přesetí sedimentu hrubým sítem pro zjištění podílu hrubých organických složek. Sediment byl oddělen hrubým sítem pro zjištění podílu hrubých organických složek.
- Zeminy i primární organiky byly zváženy (rostlinné zbytky, kořínky).
- Zeminy s primární organikou byly vloženy do pece a proběhlo spálení sedimentu při 350 °C. (při této teplotě došlo ke spálení organické části, avšak v půdě byl zachován organický podíl vázaný na minerální složku).
- Zeminy byly zváženy po spálení a dopočtena hmotnost (%) odpovídající množství této „primární organické hmoty“.



Obr. 9 Vzorek sedimentu s primární organikou (rostlinné organické zbytky a kořínky)

### 9.3.3 Analýza zrnitosti (půda, sediment)

Analýza byla realizována postupem kombinujícím sítování (hrubší frakce) a sedimentaci (jemnější zrnitostní podíl). Princip metody je obsažen v normě ISO 11277 (2009).

## 9.4 Analýza stability půdní struktury metodou MWD (půda – povrch)

Cílem hodnocení byl popis stability povrchové vrstvy půdy, resp. popis stability půdních agregátů, jejichž velikost logicky ovlivňuje i potenciál k jejich odnosu.

### 9.4.1 Pojmy

- **Agregát** – za daných podmínek stálá strukturní částice půdy obsahující menší částice hmoty vázané v celek (agregát).
- **MWD – (mean weighted diameter/prostý vážený průměr)** – střední hodnota velikosti rozrušeného agregátu => suma dělená 100 z produktu procentuálního hmotnostního rozdělení částic sedmi zkoumaných velikostních frakcí v milimetrech.

### 9.4.2 Pracovní postup

#### 9.4.2.1 Odběr půdních vzorků

Odebrán byl přibližně 1 kg půdního vzorku z příslušného horizontu, umístěn byl do plastové nádoby k udržení vlhkostních podmínek (při odběru zemědělské půdy bylo nutné odebrat vzorky ve vlhkostním rozmezí mezi maximální vodní kapacitou a bodem vadnutí). Vzorek byl pak co nejrychleji dopraven do laboratoře se snahou o minimální poškození půdní struktury.

#### 9.4.2.2 Příprava půdního vzorku

Vzorky zeminy byly umístěny v dobře větrané, temperované místnosti a sušeny při laboratorní teplotě 35 °C. Během sušení došlo k jemnému rozdrčení velkých agregátů rukou a byly odebrány kameny větší než 5 mm. Po dokonalém vysušení vzorku zeminy se zemina prosela na sítu o velikosti ok 5 mm a 3 mm, tyto frakce byly dále podrobeny testu. Těsně před zahájením testů byla stanovovaná frakce zeminy sušena v peci při teplotě 40 °C po dobu 24 hodin.

#### 9.4.2.3 Pracovní postup stanovení MWD (ISO 10930, 2012)

##### **Test A – („Fast wetting“) rychlé namočení vzorku do vody**

Tento postup byl navržen k testu suchého vzorku zeminy při náhlém (prudkém) ovlhčení, jedná se tedy o simulaci zavlažování, silného deště (jarní, letní bouřky).

- 1) Naváženo bylo 5-10 g standardizovaných agregátů 3-5 mm (navážka zvolena dle obsahu štěrku).
- 2) Agregáty byly opatrně ponořeny do 250ml kádinky naplněné 50 ml destilované vody.
- 3) Čekalo se 10 minut (vizuální kontrola rozpadu).
- 4) Poté byla voda odsáta pipetou.
- 5) Půdní materiál byl poté za pomoci stříčky naplněné ethanolem přesunut na síto s průměry ok <0,05 mm ponořené v ethanolu.
- 6) Dále bylo měřeno zastoupení a velikost jednotlivých frakcí.

##### **Test B – („Slow wetting“) pomalé ovlhčení**

Tento postup byl použit pro testování chování suché půdy vystavené dešti o střední intenzitě (méně destruktivní než předchozí postup, proto byl vhodný pro popis rozdílů mezi nestabilními půdami).

- 1) Naváženo bylo 5-10 g standardizovaných agregátů 3-5 mm (navážka byla zvolena dle obsahu štěrku).
- 2) Na pěnu (syntetická pěna tloušťky 3 cm s hustotou 30 kg/m<sup>3</sup>) ponořenou 2,5 cm ve vodě v misce byl položen filtrační papír (2 µm) a počkalo se, až se papír navlhčí.
- 3) Agregáty byly rozloženy na filtrační papír.
- 4) Počkalo se, až došlo ke kapilárnímu nasycení agregátů (cca. 60 minut).
- 5) Půdní materiál byl poté za pomoci stříčky naplněné ethanolem přenesen na síto <0,05 mm ponořené v ethanolu.
- 6) Dále bylo měřeno zastoupení a velikost jednotlivých frakcí.

### **Test C – („Mechanical disaggregation”) mechanický rozpad agregátů po jejich ovlhčení v ethanolu**

Agregáty obsahovaly vzduch, který byl v lihovém solvenu z agregátu nedestruktivně odstraněn (nedošlo k rozpadu agregátu – „slacking”). Takto byly agregáty stabilizovány pro test mechanické koheze (soudržnosti).

- 1) Naváženo bylo 5-10 g standardizovaných agregátů 3-5 mm (navážka byla zvolena dle obsahu štěrku).
- 2) 250ml kádinka byla naplněna 50 ml čistého ethanolu.
- 3) Agregáty byly ponořeny do ethanolu na dobu 30 minut.
- 4) Za pomoci pipety byl odsán ethanol.
- 5) Půdní materiál byl poté za pomoci stříčky s destilovanou vodou přenesen do 250ml Erlenmeyerovy baňky naplněné 50 ml destilované vody.
- 6) Objem vody byl poté doplněn na objem 200 cm<sup>3</sup>.
- 7) Erlenmeyerova baňka byla poté zazátkována a 10x důrazně protřepána otočením baňky vzhůru nohama a zpátky.
- 8) Baňka byla poté po dobu 30 minut ponechána stát z důvodů sedimentace částic.
- 9) Nadbytek vody byl odsán pipetou.
- 10) Zbývající směs půdy byla přenesena za pomoci stříčky s ethanolem na <0,05 mm síto předtím ponořené v ethanolu a dále bylo měřeno zastoupení a velikost jednotlivých frakcí.

### **Měření zastoupení jednotlivých velikostních frakcí**

Tato část metody byla shodná pro všechny 3 výše uvedené postupy (pracovalo se s agregáty na sítu o průměru ok <0,05 mm).

- 1) Na síto s oky <0,05 mm (předem ovlhčené v ethanolu) se pomocí stříčky (s ethanolem) kvantitativně přenesl vzorek půdy po daném disruptivním testu, síto + vzorek byly vloženy do přístroje vytvářejícího heliaktický pohyb (Obr. 10), sítem bylo v pěti cyklech pohybováno v nádobce s ethanolem (zdvih 45 mm, rotace 180°/cyklus) z důvodu provedení granulometrické separace a zabránění dalšímu rozpadu půdních agregátů.
- 2) Poté byly agregáty přeneseny ze síta do vysoušecí misky za pomoci stříčky s ethanolem.

- 3) Agregáty byly sušeny v peci po dobu 48 hodin při teplotě 40 °C.
- 4) Vysušené agregáty byly poté přeneseny na sestavu 6 sít o velikosti ok 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,2 mm, 0,1 mm a 0,05 mm.
- 5) Sestavou bylo poté jemně třepáno tak, aby se agregáty rozprostřely po sítu z důvodu kvantitativní separace velikostních frakcí.
- 6) Jednotlivé hmotnosti dané velikostní frakcí vzorku byly přesně zváženy na analytických vahách.
- 7) Množství frakce <0,05 mm bylo získáno odečtem hmotnosti všech frakcí >0,05 mm od původní hmotnosti vzorku.



Obr. 10 Vlevo – Aparatura dle Henin-Féodoroff pro simulaci heliakálního pohybu v EtOH,  
Vpravo – válcová nádoba s EtOH

#### 9.4.2.4 Výpočet MWD

Po disagregaci byla spočtena hodnota MWD (Mean weighted diameter/prostý vážený průměr) podle následující rovnice.

$$\text{MWD} = \sum (\text{prostý průměr mezi 2 sítí} * (\text{vážené \% částic zachycených na sítu})) / 100$$

#### 9.4.2.5 Třídy stability půdní struktury v závislosti na hodnotě MWD

Každý ze třech provedených testů, stejně jako kombinace všech výsledků testů, reprezentují proces rozpadu půdních agregátů za daných vlhkostních či mechanických podmínek. Proto lze specificky hodnotit jednotlivé půdní vzorky v kontextu s jejich disruptními histogramy. Zároveň hodnota MWD může být interpretována podle tabulky (Tab. 3), která hodnotí třídy stability půdní struktury, náchylnosti půd k vodní erozi, či krustability půd.

MWD	Stabilita půdní struktury	Tvorba povrchové krusty	Odtok a mezirýhová eroze
<0,4 mm	vysoce nestabilní	soustavná	trvalé vysoké riziko při všech topografických podmínkách
0,4 - 0,8 mm	nestabilní	velmi častá	časté riziko při všech situacích
0,8 - 1,3 mm	mírně nestabilní	častá	proměnné riziko závislé na klimatických a topografických parametrech
1,3 - 2,0 mm	stabilní	občasná	omezené riziko
>2 mm	vysoce stabilní	velmi vzácná	velmi nízké riziko

Tab. 3 Třídy stability půdní struktury, frekvence tvorby povrchové krusty a rizika vodní eroze v závislosti na hodnotě MWD stanovené po disagregaci půdního vzorku (ISO 10930, 2012)

### 9.5 Testované hypotézy

Tato diplomová práce je zaměřena na zjištění ztrát organické hmoty vlivem větrné eroze na lokalitách 2–6. K tomuto výzkumu byla změřena a zanalyzována tato data:

- Obsah Cox v půdě na lokalitě
- Obsah Cox v sedimentu
- Celková ztráta půdy po měření
- Stabilita půdní struktury
- Obsah uhlíku v sedimentu (2 formy)

Testované hypotézy byly tyto:

- Ztráta půdy měřená větrným tunelem byla závislá na stavu povrchu ( $X_a$  = přirozený povrch,  $X_b$  = povrch homogenně narušený hrabičkami).
- Ztráta půdy byla závislá na hodnotě MWD.
- Ztráta půdy byla závislá na obsahu Cox v ní.
- Ztráta půdy byla závislá na částicích půdy <0,01.

## 10 Výsledky

### 10.1 Charakteristika měřených ploch

#### 10.1.1 Měření č. 2

Základní informace o měření č. 2 jsou uvedeny v Tab. 4, na Obr. 11 je vidět půdní profil zjištěný sondou a povrch v místě odebrání vzorku.



Obr. 11 Fotografie půdní sondy a půdního metru pro měření č. 2

<b>Databázové číslo</b>	2
<b>Půdní typ</b>	Regozem arenická
<b>Souřadnice GPS</b>	X 17,0469739; Y 48,9498150
<b>Okres odběru</b>	Hodonín
<b>Katastrální území odběru</b>	Šardice
<b>Vegetační (rostlinný) kryt</b>	Příprava k setí po obilovině
<b>Půdní druh</b>	Písčítý
<b>Obsah neerodovatelných částic &gt;0,8 mm</b>	0 %
<b>Obsah Cox</b>	0,56 %
<b>Obsah pH H<sub>2</sub>O</b>	6,22
<b>Obsah pH KCl</b>	5,53

Tab. 4 Základní informace o měření č. 2



### 10.1.2 Měření č. 3

Základní informace o měření č. 3 jsou uvedeny v Tab. 5, na Obr. 12 je vidět půdní profil zjištěný sondou a povrch v místě odebrání vzorku.



Obr. 12 Fotografie půdní sondy a půdního metru pro měření č. 3

<b>Databázové číslo</b>	<b>3</b>
<b>Půdní typ</b>	Černozem modální
<b>Souřadnice GPS</b>	X 17,030916; Y 48,955229
<b>Okres odběru</b>	Hodonín
<b>Katastrální území odběru</b>	Šardice
<b>Vegetační (rostlinný) kryt</b>	Příprava k setí po obilovině
<b>Půdní druh</b>	Písčitohlinitý
<b>Obsah neerodovatelných částic &gt;0,8 mm</b>	0,5 %
<b>Obsah Cox</b>	1,82 %
<b>Obsah pH H<sub>2</sub>O</b>	5,58
<b>Obsah pH KCl</b>	4,97

Tab. 5 Základní informace o měření č. 3



### 10.1.3 Měření č. 4

Základní informace o měření č. 4 jsou uvedeny v Tab. 6, na Obr. 13 je vidět půdní profil zjištěný sondou a povrch v místě odebrání vzorku.



Obr. 13 Fotografie půdní sondy a půdního metru pro měření č. 4

<b>Databázové číslo</b>	<b>4</b>
<b>Půdní typ</b>	Hnědozem modální
<b>Souřadnice GPS</b>	X 14,2217081; Y 50,1260678
<b>Okres odběru</b>	Praha západ
<b>Katastrální území odběru</b>	Dobrovíz
<b>Vegetační (rostlinný) kryt</b>	Příprava k setí po obilovině
<b>Půdní druh</b>	Jílovitohlinitý
<b>Obsah neerodovatelných částic &gt;0,8 mm</b>	1,9 %
<b>Obsah Cox</b>	2,43 %
<b>Obsah pH H<sub>2</sub>O</b>	7,44
<b>Obsah pH KCl</b>	6,97

Tab. 6 Základní informace o měření č. 4

#### 10.1.4 Měření č. 5

Základní informace o měření č. 5 jsou uvedeny v Tab. 7, na Obr. 14 je vidět půdní profil zjištěný sondou a povrch v místě odebrání vzorku.



Obr. 14 Fotografie půdní sondy a půdního metru pro měření č. 5

<b>Databázové číslo</b>	<b>5</b>
<b>Půdní typ</b>	Černozem modální
<b>Souřadnice GPS</b>	X 14,3098983; Y 50,2003847
<b>Okres odběru</b>	Praha západ
<b>Katastrální území odběru</b>	Tursko
<b>Vegetační (rostlinný) kryt</b>	Příprava k setí po obilovině
<b>Půdní druh</b>	Jílovitohlinitý
<b>Obsah neerodovatelných částic &gt;0,8 mm</b>	6,4 %
<b>Obsah Cox</b>	1,52 %
<b>Obsah pH H<sub>2</sub>O</b>	7,43
<b>Obsah pH KCl</b>	7,05

Tab. 7 Základní informace o měření č. 5

### 10.1.5 Měření č. 6

Základní informace o měření č. 6 jsou uvedeny v Tab. 8, na Obr. 15 je vidět půdní profil zjištěný sondou a povrch v místě odebrání vzorku.



Obr. 15 Fotografie půdní sondy a půdního metru pro měření č. 6

<b>Databázové číslo</b>	<b>6</b>
<b>Půdní typ</b>	Luvizem modální
<b>Souřadnice GPS</b>	X 14,2469053; Y 50,0645922
<b>Okres odběru</b>	Praha západ
<b>Katastrální území odběru</b>	Chýně
<b>Vegetační (rostlinný) kryt</b>	Příprava k setí po obilovině
<b>Půdní druh</b>	Hlinitý
<b>Obsah neerodovatelných částic &gt;0,8 mm</b>	4,5 %
<b>Obsah Cox</b>	1,45 %
<b>Obsah pH H<sub>2</sub>O</b>	6,55
<b>Obsah pH KCl</b>	6,1

Tab. 8 Základní informace o měření č. 6

## 10.2 Slovní vyhodnocení jednotlivých lokalit

Zde je zobrazena souhrnná tabulka (Tab. 9) se získanými daty o půdním typu, množství půdních částic <0,01 mm, obsahu Cox v půdě, obsahu Cox v sedimentu a obsahu primární organiky (zaznamenané ve vzorku sedimentu) jednotlivých lokalit, na kterých proběhlo měření.

Lokalita	Půdní typ	<0,01mm [%]	Cox půda [%]	Cox sediment [%]	Primární organika [% z váhy sedimentu]
2a	Regozem arenická	7,1	0,56	2,1	x
2b	Regozem arenická	7,1	0,56	2	3
3a	Černozem modální	22,2	1,82	2,1	7,2
3b	Černozem modální	22,2	1,82	2,6	14,2
4a	Hnědozem modální	41,4	2,43	4,6	x
4b	Hnědozem modální	41,4	2,43	x	x
5a	Černozem modální	43,5	1,52	3,3	11
5b	Černozem modální	43,5	1,52	3,3	18,8
6a	Luvizem modální	30,4	1,45	x	x
6b	Luvizem modální	30,4	1,45	4,2	x

Tab. 9 Souhrnná data o půdě, odvátném sedimentu a obsahu uhlíku pro každou lokalitu

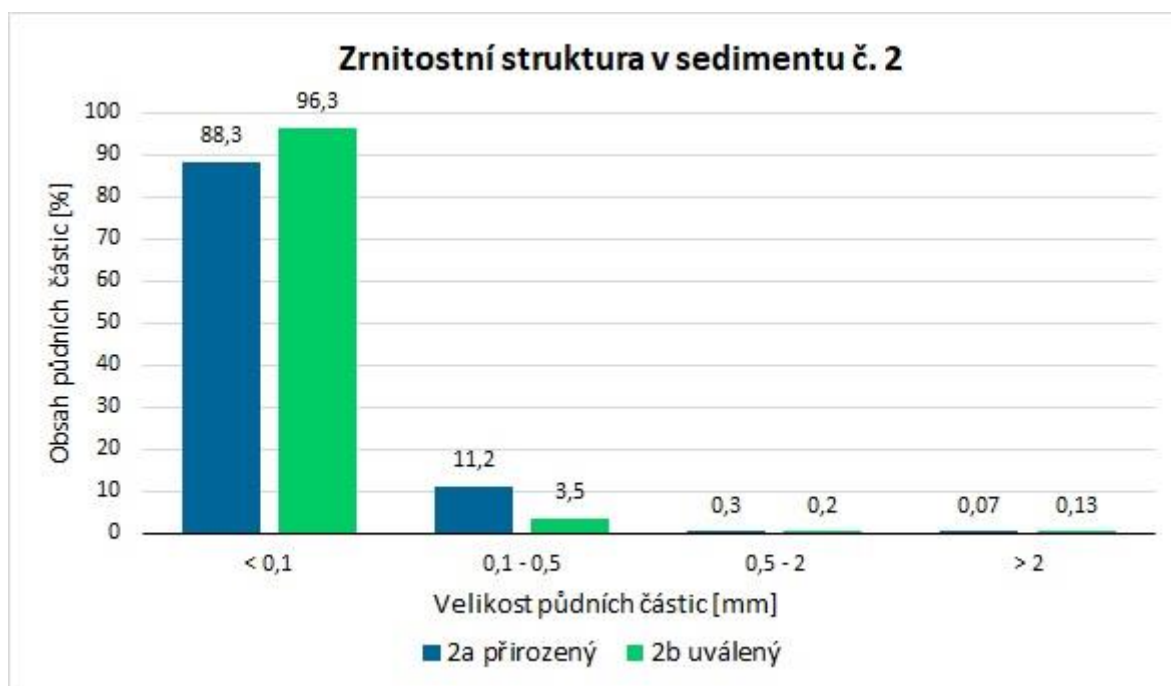
Zde je zobrazena souhrnná tabulka (Tab. 10) s výsledky analýzy MWD jednotlivých lokalit, na kterých proběhlo měření. Dále se v tabulce nachází data o ztrátě půdy, obsahu Cox v sedimentu a obsahu primární organiky (přepočtena na kg/ha). Výsledky zahrnují hodnoty souhrnného MWD i jednotlivých typů MWD analýzy. MWD A popisuje výsledky po rychlém namočení půdních agregátů do vody, MWD B popisuje výsledky po pomalém ovlhčení půdních agregátů, MWD C popisuje výsledky po mechanickém rozpadu půdních agregátů po jejich ovlhčení v ethanolu. Vyšší hodnoty značí vyšší stabilitu půdní struktury.

Lokalita	MWD [mm]	MWD A [mm]	MWD B [mm]	MWD C [mm]	Ztráta půdy [kg/ha]	Cox sediment [kg/ha]	Primární organika [kg/ha]
2a	x	x	x	x	1828,25	38,4	x
2b	x	x	x	x	788,87	15,8	23,7
3a	0,96	0,41	1,65	0,80	56,83	1,2	4,1
3b	0,96	0,41	1,65	0,80	55,43	1,4	7,9
4a	1,78	0,74	2,09	2,51	6,48	0,3	x
4b	1,78	0,74	2,09	2,51	3,69	x	x
5a	1,37	0,55	1,13	2,43	49,26	1,6	5,4
5b	1,37	0,55	1,13	2,43	18,42	0,6	3,5
6a	1,89	1,15	2,34	2,17	8,2	x	x
6b	1,89	1,15	2,34	2,17	43,19	1,8	x

Tab. 10 Souhrnná data o výsledcích analýzy MWD pro každou lokalitu

### 10.2.1 Měření č. 2

Měření proběhlo v Šardicích (okres Hodonín), půdní typ byl určen jako regozem arenická, půdní druh byl určen jako písčítý, neerodovatelné částice >0,8 mm nebyly prakticky zaznamenány, obsah částic <0,01 mm byl 7,1 %. Pro toto měření nebyla zjištěna hodnota MWD z důvodu písčitého charakteru sedimentu, který provedení analýzy znemožňoval. Zrnitostní skladba půdních částic v sedimentu je zobrazena v grafu (Obr. 16).



Obr. 16 Zrnitostní struktura ve vzorku sedimentu č. 2

#### 10.2.1.1 Varianta I. – 2a

V lokalitě 2a došlo ke ztrátě půdy 1828,25 kg/ha, obsah uhlíku v půdě byl 0,56 %, obsah uhlíku v sedimentu byl 2,1 %, obsah primární organiky nebyl zjištěn. Celková ztráta množství uhlíku byla zjištěna pro měření 2a 38,4 kg/ha, v tomto měření nebyla obsažena primární organika.

#### 10.2.1.2 Varianta II. – 2b

V lokalitě 2b došlo ke ztrátě půdy 788,87 kg/ha, obsah uhlíku v půdě byl 0,56 %, obsah uhlíku v sedimentu byl 2 %, obsah primární organiky byl 3 %. Celková ztráta množství uhlíku byla zjištěna pro měření 2b 39,5 kg/ha, z toho 23,7 kg/ha uhlíku bylo obsaženo v primární organice.

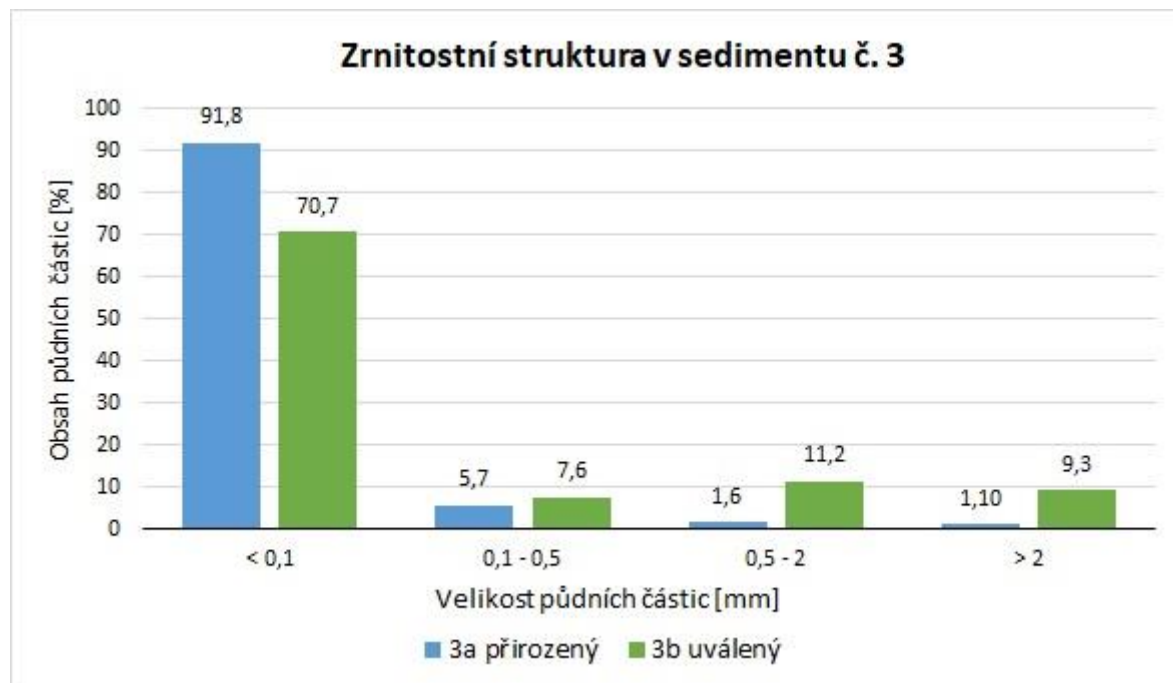
#### 10.2.1.3 Zhodnocení

V měření č. 2 došlo k největší ztrátě půdy po simulaci větrné eroze, ztráta množství uhlíku v sedimentu byla také největší v kg/ha, v procentech byla ovšem nejnižší, procentuální množství uhlíku v sedimentu i v primární organice bylo také nejnižší. K tak velké ztrátě půdy došlo, protože písčité půdní druh je nejvíce náchylný k větrné erozi, jedná se o lehké půdy a částice půdy jsou velmi malé, nevytváří se žádné větší neerodovatelné částice, a tak odnosu půdy nic nebrání. Pravděpodobně k tomu přispělo i teplejší a sušší klima v lokalitě měření, měření proběhlo v oblasti Jižní Moravy, kde jsou zemědělské pozemky větrnou erozí ohroženy nejvíce a v poslední době je v této oblasti velmi suché a teplé jaro, léto i podzim a srážky jsou ojedinělé a přívalové, tak se část vody nestihne vsáknout do půdy. Přes velkou ztrátu půdy došlo k poměrně nižšímu odnosu množství uhlíku v sedimentu. K tomu došlo z důvodu typu půdy regozem arenická, která je vyvinutá ze sypkých sedimentů, hlavně z písku, kde je minerálně chudý substrát. Toto měření pochází ze zemědělských pozemků patřících mezi nejohroženější půdy větrnou erozí v České republice. Výsledky měření varianty 2a i 2b byly poměrně odlišné v měření ztráty půdy po standardizaci, u 2b se ztráta půdy snížila téměř o polovinu. Ostatní naměřené hodnoty byly poměrně podobné.

### 10.2.2 Měření č. 3

Měření proběhlo v Šardicích (okres Hodonín), půdní typ byl určen jako černozem modální, půdní druh byl určen jako písčitohlinitý, obsah neerodovatelných částic >0,8 mm byl 0,5, obsah částic <0,01 mm byl 22,2 %. Stabilita půdní struktury byla vyhodnocena

podle Tab. 3 a hodnoty MWD 0,96 mm, z toho vyplývá, že měření č. 3 proběhlo na mírně nestabilní půdě, kde se často tvoří povrchová krusta a vzniká proměnné riziko závisující na klimatických a topografických parametrech. Zrnitostní struktura půdních částic v sedimentu je zobrazena v grafu (Obr. 17).



Obr. 17 Zrnitostní struktura v sedimentu č. 3

#### 10.2.2.1 Varianta I. – 3a

V lokalitě 3a došlo ke ztrátě půdy 56,83 kg/ha, obsah uhlíku v půdě byl 1,82 %, obsah uhlíku v sedimentu byl 2,1 %, obsah primární organiky byl 7,2 %. Celková ztráta množství uhlíku byla zjištěna pro měření 3a 5,3 kg/ha, z toho 4,1 kg/ha uhlíku bylo obsaženo v primární organice.

#### 10.2.2.2 Varianta II. – 3b

V lokalitě 3b došlo ke ztrátě půdy 55,43 kg/ha, obsah uhlíku v půdě byl 1,82 %, obsah uhlíku v sedimentu byl 2,6 %, obsah primární organiky byl 14,2 %. Celková ztráta množství uhlíku byla zjištěna pro měření 3b 9,3 kg/ha, z toho 7,9 kg/ha uhlíku bylo obsaženo v primární organice.

#### 10.2.2.3 Zhodnocení

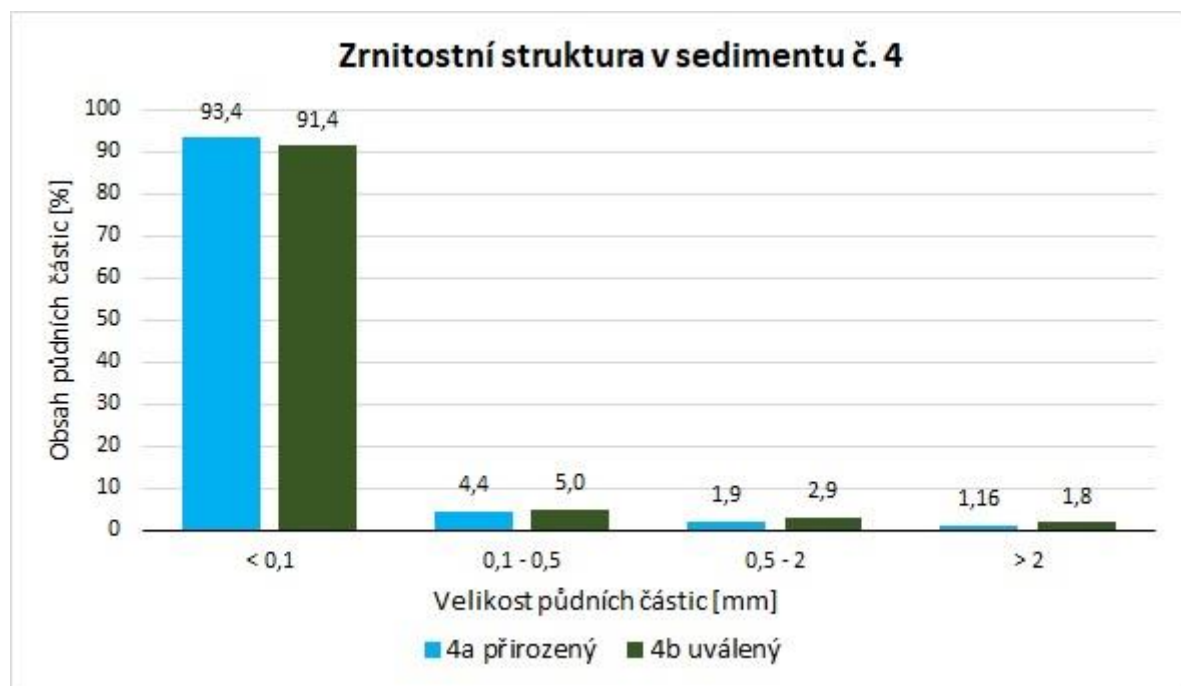
V měření č. 3 došlo k druhé největší ztrátě půdy po simulaci větrné eroze, ztráta množství uhlíku v sedimentu byla průměrná v kg/ha v porovnání s jinými měřeními,



ale procentuální množství uhlíku v primární organice bylo vyšší. Zajímavé je, že v celkové ztrátě uhlíku byla velká část tvořena primární organikou. Toto měření proběhlo ve stejné lokalitě jako měření č. 2, přesto byla ztráta půdy nižší a byl v ní větší obsah uhlíku. Způsobené je to tím, že se už jednalo o písčitohlinitý druh, který je méně náchylný k erozi a má o něco větší procento větších půdních částic než půdy písčité, patří mezi půdy středně těžké. Zároveň se jednalo o černozem modální, která má větší obsah humusu v horizontu, proto došlo k poměrně velkému odnosu uhlíku. K této poměrně velké ztrátě půdy větrnou erozí přispělo již zmíněné teplé a suché klima Jižní Moravy, kde jsou půdy nejvíce ohrožené. Výsledky měření varianty 3a a 3b jsou odlišné u obsahu množství uhlíku v primární organice, standardizovaná varianta 3b měla přibližně 2x vyšší hodnoty než měření první variantou 3a. Množství ztráty půdy a obsah uhlíku v sedimentu byl poměrně stejný pro obě varianty.

### 10.2.3 Měření č. 4

Měření proběhlo v Dobrovízi (okres Praha západ), půdní typ byl určen jako hnědozem modální, půdní druh byl určen jako jílovitohlinitý, obsah neerodovatelných částic >0,8 mm byl 1,9 %, obsah částic <0,01 mm byl 41,4 %. Stabilita půdní struktury byla vyhodnocena podle Tab. 3 a hodnoty MWD 1,78 mm, z toho vyplývá, že měření č. 4 proběhlo na stabilní půdě, kde se občas tvoří povrchová krusta a vzniká omezené riziko eroze. Zrnitostní struktura půdních částic v sedimentu je zobrazena v grafu (Obr. 18).



Obr. 18 Zrnitostní struktura v sedimentu č. 4



#### 10.2.3.1 Varianta I. – 4a

V lokalitě 4a došlo ke ztrátě půdy 6,48 kg/ha, obsah uhlíku v půdě byl 2,43 %, obsah uhlíku v sedimentu byl 4,6 %, obsah primární organiky nebyl zjištěn. Celková ztráta množství uhlíku byla zjištěna pro měření 4a 0,4 kg/ha, obsah primární organiky nebyl zjištěn.

#### 10.2.3.2 Varianta II. – 4b

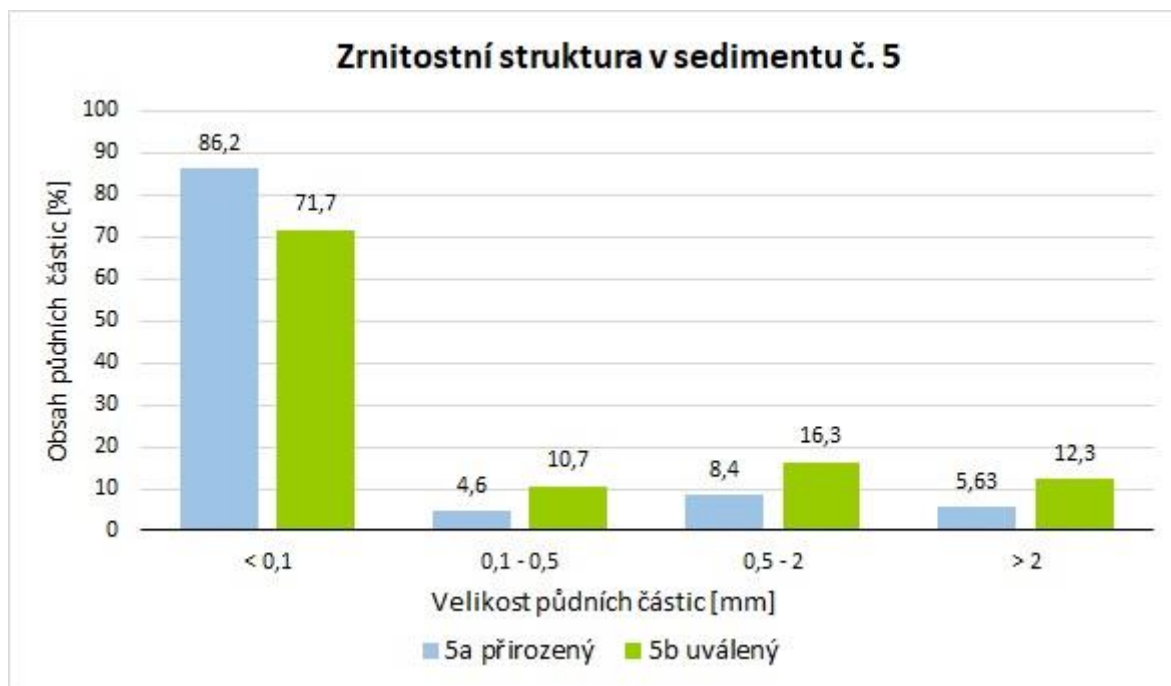
V lokalitě 4b došlo ke ztrátě půdy 3,69 kg/ha, obsah uhlíku v půdě byl 2,43 %, obsah uhlíku v sedimentu nebyl zjištěn, obsah primární organiky nebyl zjištěn. Celková ztráta množství uhlíku nebyla zjištěna.

#### 10.2.3.3 Zhodnocení

V měření č. 4 došlo k nejmenší ztrátě půdy po simulaci větrné eroze, jelikož se jednalo o půdu stabilní, jílovitohlinitý druh půdy patří mezi půdy těžké, tudíž nejméně náchylné k erozi. Pouze ve výjimečných případech se v kombinaci klimatických podmínek rozpadne jílovitá půda na částičky, které po zimě před setím mohou být erodovány. V tomto případě k tomu však nedošlo a ztráta půdy po simulaci větrné eroze byla nejmenší ze všech měření. Další zjištěné hodnoty o obsahu uhlíku v sedimentu nebyly získány. Výsledky měření byly odlišné v množství ztráty půdy, ve variantě po standardizaci 4b byly hodnoty přibližně o polovinu nižší než u varianty 4a.

### 10.2.4 Měření č. 5

Měření proběhlo v Tursku (okres Praha západ), půdní typ byl určen jako černozem modální, půdní druh byl určen jako jílovitohlinitý, obsah neerodovatelných částic >0,8 mm byl 6,4 %, obsah částic <0,01 mm byl 43,5 %. Stabilita půdní struktury byla vyhodnocena podle Tab. 3 a hodnoty MWD 1,37 mm, z toho vyplývá, že měření č. 5 proběhlo na stabilní půdě, kde se občas tvoří povrchová krusta a vzniká omezené riziko eroze, avšak hodnota MWD je krajní s kategorií mírně nestabilní struktura. Zrnitostní struktura půdních částic je zobrazena v grafu (Obr. 19).



Obr. 19 Zrnitostní struktura ve vzorku č. 5

#### 10.2.4.1 Varianta I. – 5a

V lokalitě 5a došlo ke ztrátě půdy 49,26 kg/ha, obsah uhlíku v půdě byl 1,52 %, obsah uhlíku v sedimentu byl 3,3 %, obsah primární organiky byl 11 %. Celková ztráta množství uhlíku byla zjištěna pro měření 5a 7 kg/ha, z toho 5,4 kg/ha uhlíku bylo obsaženo v primární organice.

#### 10.2.4.2 Varianta II. – 5b

V lokalitě 5b došlo ke ztrátě půdy 18,42 kg/ha, obsah uhlíku v půdě byl 1,52 %, obsah uhlíku v sedimentu byl 3,3 %, obsah primární organiky byl 18,8 %. Celková ztráta množství uhlíku byla zjištěna pro měření 5b 4,1 kg/ha, z toho 3,5 kg/ha uhlíku bylo obsaženo v primární organice.

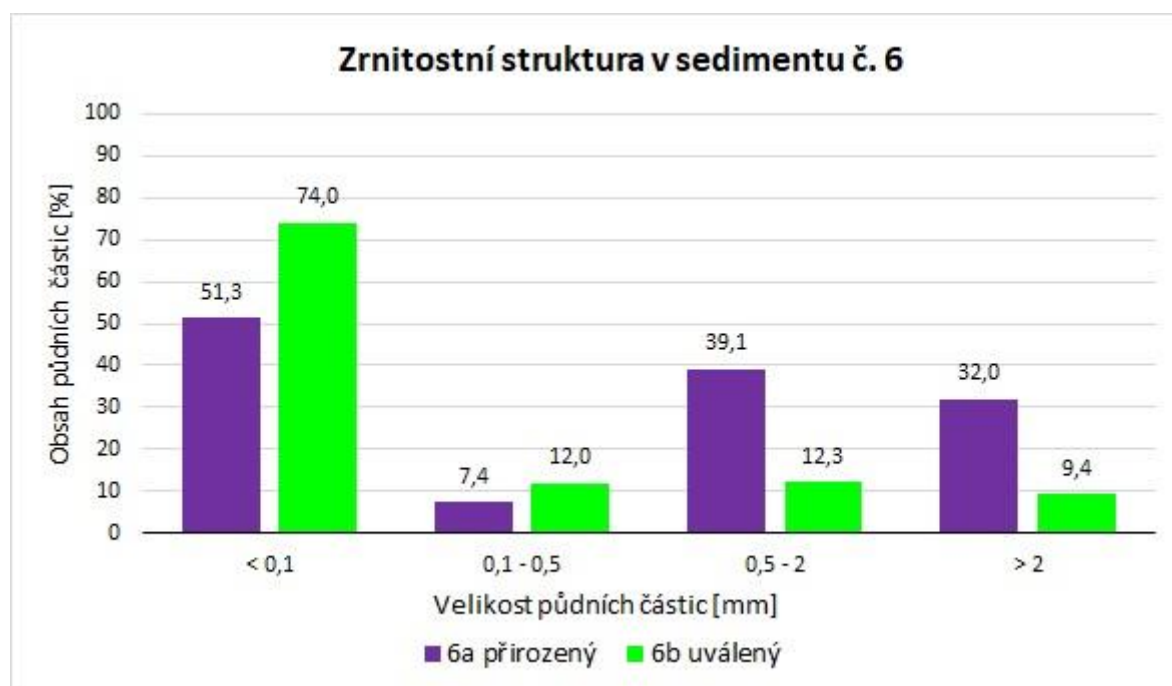
#### 10.2.4.3 Zhodnocení

V měření č. 5 došlo k poměrně větší ztrátě půdy po simulaci větrné eroze, ztráta množství uhlíku v sedimentu byla poměrně průměrná v kg/ha v porovnání s jinými měřeními, ale procentuální množství uhlíku v primární organice bylo vyšší. Zajímavé je, že v celkové ztrátě uhlíku byla velká část tvořena primární organikou a také došlo k velkému rozdílu mezi měření ztráty půdy variantou 5a – vyšší číslo a variantou 5b – nižší

číslo. Způsobené to je tím, že se jedná o půdy jílovitohlinité, které patří mezi těžké a méně náchylné k erozi. Pravděpodobně klimatické podmínky napomohly erozi odnosu částic, ale proces standardizace způsobil menší odnos půdy. Ostatní výsledky variant jsou odlišné, u všech výsledků varianty po standardizaci 5b jsou hodnoty nižší než u první varianty 5a.

### 10.2.5 Měření č. 6

Měření proběhlo v Chýni (okres Praha západ), půdní typ byl určen jako luvizem modální, půdní druh byl určen jako hlinitý, obsah neerodovatelných částic  $>0,8$  mm byl 4,5 %, obsah částic  $<0,01$  mm byl 30,4 %. Zrnitostní struktura půdních částic v sedimentu je zobrazena v grafu (Obr. 20).



Obr. 20 Zrnitostní struktura v sedimentu č. 6

#### 10.2.5.1 Varianta I. – 6a

V lokalitě 6a došlo ke ztrátě půdy 8,2 kg/ha, obsah uhlíku v půdě byl 1,45 %, obsah uhlíku v sedimentu nebyl zjištěn, obsah primární organiky nebyl zjištěn. Celková ztráta množství uhlíku nebyla zjištěna.

#### 10.2.5.2 Varianta II. – 6b

V lokalitě 6b došlo ke ztrátě půdy 43,19 kg/ha, obsah uhlíku v půdě byl 1,45 %, obsah uhlíku v sedimentu byl 4,2 %, obsah primární organiky nebyl zjištěn.

Celková ztráta množství uhlíku byla zjištěna pro měření 6b 1,8 kg/ha, obsah primární organiky nebyl zjištěn. Stabilita půdní struktury byla vyhodnocena podle Tab. 3 a hodnoty MWD 1,89 mm, z toho vyplývá, že měření č. 6 proběhlo na stabilní půdě, kde se občas tvoří povrchová krusta a vzniká omezené riziko eroze.

#### 10.2.5.3 Zhodnocení

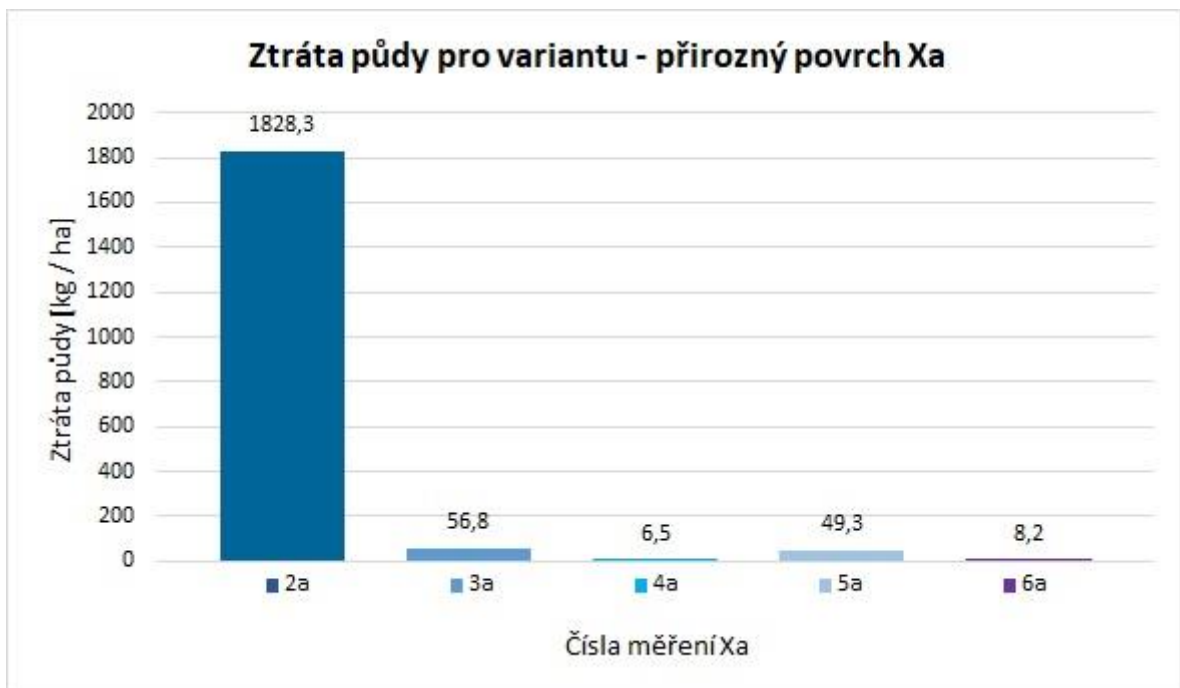
V měření č. 6 došlo k poměrně velkému rozdílu mezi variantou 6a, kde byl zaznamenán nižší odnos množství uhlíku a variantou 6b, kde byl zaznamenán výrazně vyšší odnos množství uhlíku než u 6a. Způsobeno to bylo pravděpodobně tím, že luvizem je tvořená ze středně těžkých substrátů, které po standardizaci byly náchylnější k erozi než původní.

#### 10.2.6 Souhrnné poznatky z měření

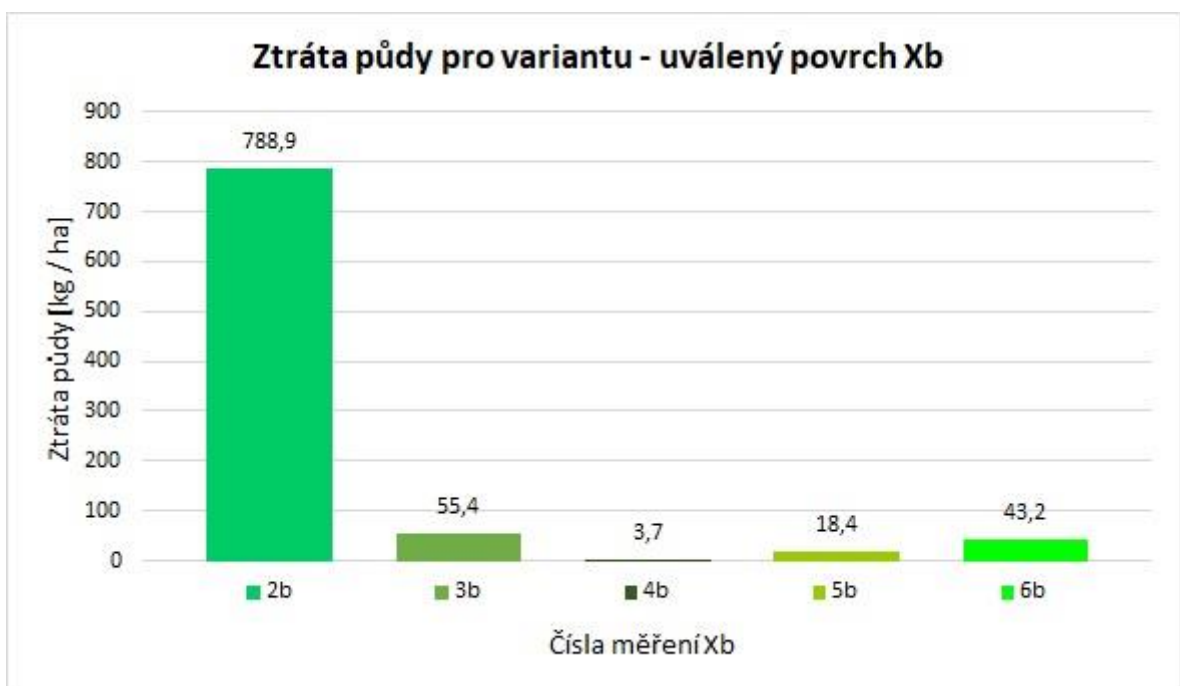
Průměrně došlo ke ztrátě 286 kg/ha půdy na měřených šesti lokalitách. Z provedených měření vyplynulo, že množství organické hmoty v odvátném sedimentu tvoří přibližně 3 %. Množství organické hmoty v půdě je jednou tak menší než v odvátném sedimentu, pouze 1,5 % uhlíku bylo průměrně zjištěno v půdě na měřených šesti lokalitách. Množství uhlíku v primární organice, neboli v odvátných rostlinných zbytků ležících volně na povrchu, bylo přibližně 9 % z váhy sedimentu. Když se do výpočtu zahrnuje množství primární organiky, množství odvátného uhlíku bylo tvořeno přibližně 12 % z celého sedimentu. Zároveň bylo průměrně odvátno 7,6 kg/ha organické hmoty a 8,6 kg/ha primární organiky. Pro vytváření konkrétních závěrů proběhlo zatím nedostatečné množství měření, ale i z těchto dat je patrné, že větrná eroze odnáší značnou část organické hmoty, která je významná pro úrodnost půdy. Zároveň je důležité v těchto měřeních zohlednit nejen uhlík navázaný na půdní částice, ale i uhlík obsažený v odvátných rostlinných zbytkách, který je primárním zdrojem vstupujícím do humifikačních procesů.

Největší ztráta půdy byla zaznamenána při měření 2 (Obr. 21, Obr. 22) na písčinych půdách v oblasti Jižní Moravy. Potvrdilo se, že v této oblasti se vyskytují nejohroženější půdy. Také se potvrdilo, že množství odvátného sedimentu závisí na zrnitosti a klimatických podmínkách. Suché a teplé léto s přívalovými dešti spíše zvyšuje náchylnost půd k erozi. Při dalších měřeních (3–6) byla zaznamenána mnohem menší ztráta půdy. Druhá nejvyšší ztráta půdy byla zaznamenána na středně těžké půdě při měření 3 (Obr. 21, Obr. 22), to je poměrně znepokojivé, protože středně těžké půdy jsou považovány zatím za erozně neohrožené. Výsledné hodnoty MWD (A), tedy varianta,

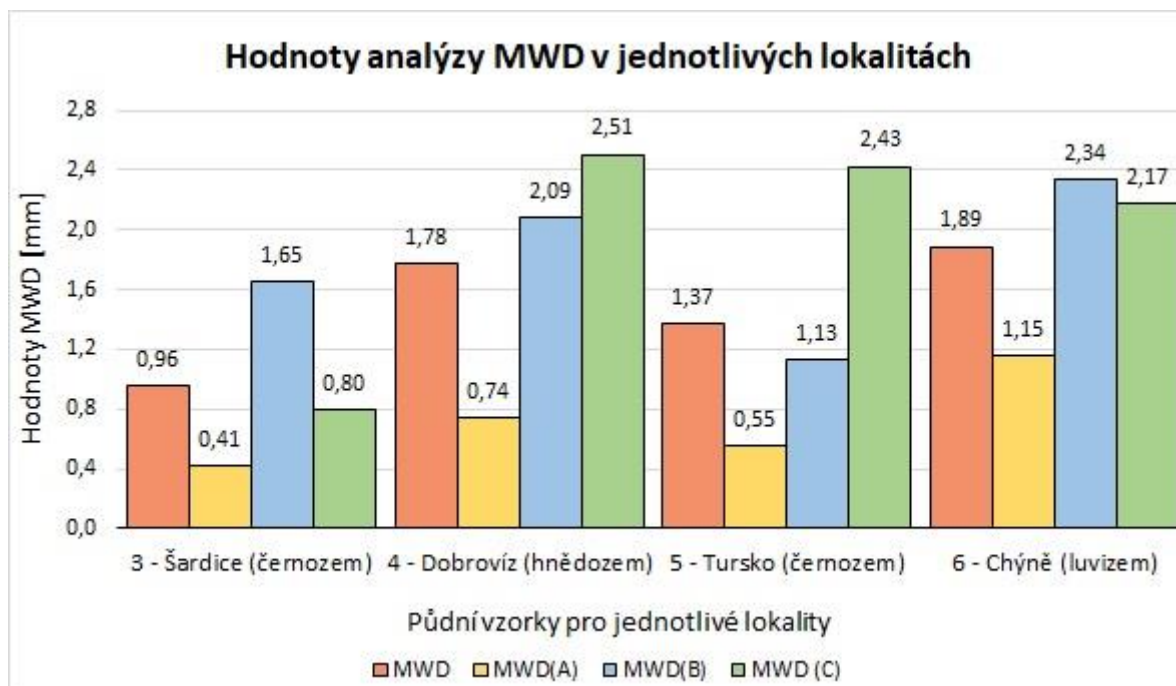
kteřá simuluje reakci suchých agregátů po náhlém navlhčení, potvrdily, že čím je nižší stabilita půdy, tím dochází k většímu množství odnosu půdních částic (Obr. 23). Očekávání, že po standardizaci měření, tedy varianty Xb (narušení a následné uválení povrchu), bude ztráta půdy větší, nebylo potvrzeno. Z tohoto důvodu se statistické hodnocení závislostí omezilo na variantu Xa, tedy na výsledky měření na přirozeném povrchu bez jeho dodatečné úpravy.



Obr. 21 Naměřená ztráta půdy pro variantu – přirozný povrch Xa



Obr. 22 Naměřená ztráta půdy pro variantu – uválený povrch Xb



Obr. 23 Zjištěné hodnoty MWD v lokalitách (2 písčité druh - nelze realizovat analýzy MWD)

### 10.3 Statistické vyhodnocení

#### 10.3.1 Použitý program a metody

Statistické vyhodnocení bylo zpracováno v programu Statistika 10, dostupném ke stažení na internetových stránkách [www.statsoft.cz](http://www.statsoft.cz). Použity byly statistické metody jednofaktorová anova, korelace a regrese. Síla testu pro všechny testované hypotézy byla realizována na předem zvolené hladině významnosti 0,05.

#### 10.3.2 Statistické vyhodnocení hypotéz

##### 10.3.2.1 Ztráta půdy měřená větrným tunelem byla závislá na stavu povrchu

Nejprve byla jednofaktorovou anovou otestována hypotéza, jestli ztráta půdy (kg/ha) měřená větrným tunelem byla závislá na stavu povrchu ( $X_a$  = přirozený povrch,  $X_b$  = povrch homogenně narušený hrabičkami). Testovala se tedy závislost mezi variantou měření  $X_a$  (2a, 3a, 4a, 5a, 6a) a variantou měření  $X_b$  (2b, 3b, 4b, 5b, 6b). Po provedení analýzy (Tab. 11) nebyl prokázán významný vliv ztráty půdy na stavu povrchu. Proto byly pro další statistické zpracování vybrány varianty měření  $X_a$  na přirozeném povrchu, neboť ty zobrazují lépe reálnou ztrátu půdy větrnou erozí.

Jednorozměrné testy významnosti pro ztráta půdy (kg/ha) (Kopie - statistika)					
Sigma-omezená parametrizace					
Dekompozice efektivní hypotézy					
Efekt	SČ	Stupně volnosti	PC	F	p
Abs. člen	817171	1	817170,8	2,142935	0,181382
lokalita	108039	1	108039,4	0,283321	0,608994
Chyba	3050660	8	381332,5		

Tab. 11 Výsledek jednofaktorové anovy ověřující závislost ztráty půdy na stavu povrchu

### 10.3.2.2 Ztráta půdy je závislá na obsahu Cox v půdě

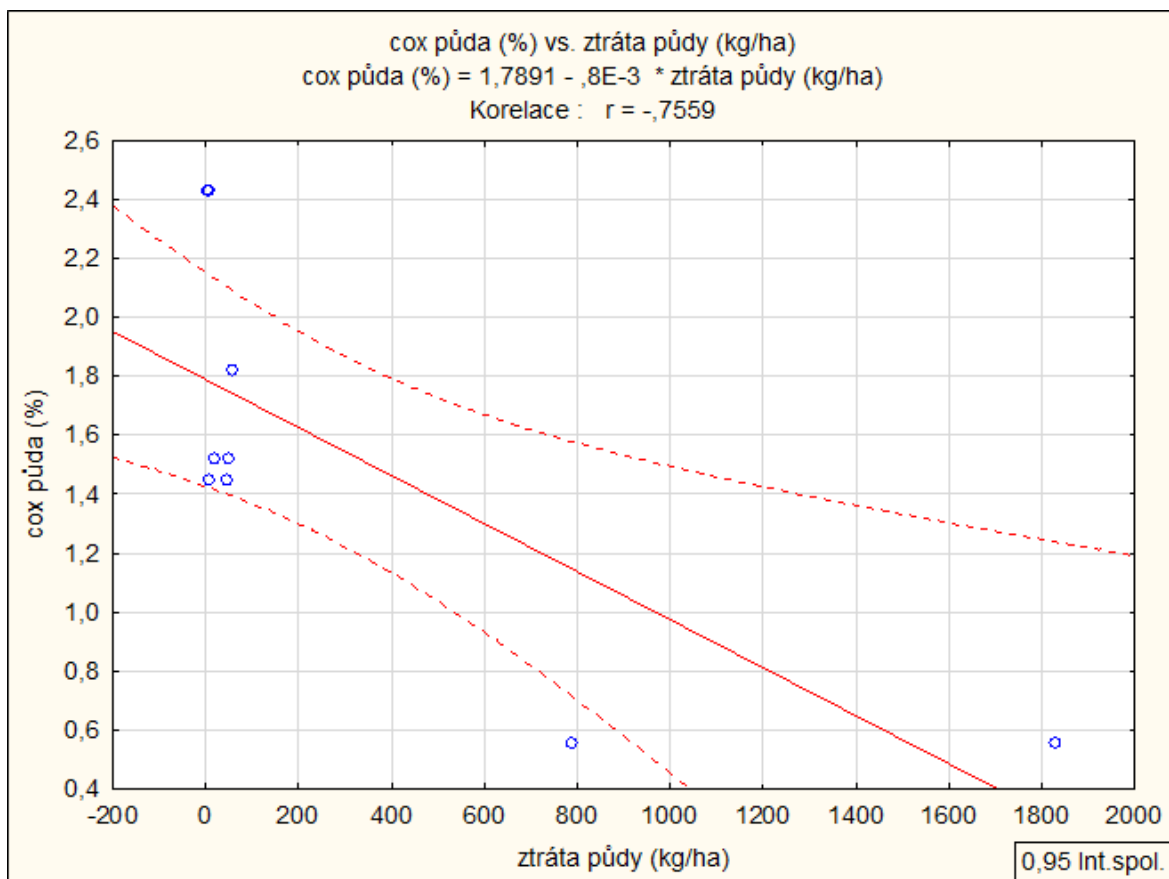
Poté byla otestována hypotéza, jestli ztráta půdy (kg/ha) byla závislá na obsahu Cox v půdě. Po provedení a získání výsledků regrese ( $F = 10,667$ ;  $p = 0,01142$ ; Tab. 12) byl prokázán významný vliv ztráty půdy (kg/ha) na obsahu Cox v půdě. Z výsledku korelace a korelačního grafu vyplývá (Tab. 13; Obr. 24), že obsah Cox v půdě (%) negativně koreluje s velikostí ztráty půdy (kg/ha). Znamená to, čím je větší ztráta půdy, tím je menší obsah Cox v půdě. Potvrzuje to teorii, že uhlík pojí minerální složku ve větší půdní částice (agregáty), tudíž na půdách, u kterých je absence tvorby větších agregátů způsobena nižším zastoupením půdního uhlíku, dochází k největší ztrátě půdy. Sediment zároveň obsahuje nižší množství Cox (měření č. 2).

	Součet	Počet st. volnosti	Průměr	F	p-hodnota
Regrese	1805058	1	1805058	10,66787	0,011421
Reziduuum	1353641	8	169205		
Celkem	3158699				

Tab. 12 Výsledek regrese se závislou proměnnou ztráta půdy (kg/ha) a nezávislou proměnnou Cox v půdě

	Průměry	Sm. odchylka	Cox půda (%)	Ztráta půdy (kg/ha)
Cox půda (%)	1,5560	0,6391	1,0	-0,755947
Ztráta půdy (kg/ha)	285,8620	592,4243	-0,755947	1,0

Tab. 13 Výsledek korelace ověřující závislost ztráty půdy na obsahu Cox v půdě



Obr. 24 Korelační graf závislosti ztráty půdy na obsahu Cox v půdě

### 10.3.2.3 Ztráta půdy byla závislá na hodnotě MWD (stabilitě půdní struktury)

Jako další byla testována hypotéza, jestli ztráta půdy (kg/ha) byla závislá na hodnotě MWD (mm). Po provedení a získání výsledků regrese ( $F = 6,858$ ;  $p = 0,03964$ ; Tab. 14) byl prokázán významný vliv ztráty půdy (kg/ha) na hodnotě MWD. Z výsledku korelace a korelačního graf vyplývá (Tab. 15; Obr. 25), že hodnoty MWD (mm) negativně koreluje s velikostí ztráty půdy (kg/ha). To znamená, čím je větší ztráta půdy, tím je nižší hodnota MWD. Potvrzuje to teorii, že čím je nižší stabilita půdního povrchu (hodnota MWD), tím je větší ztráta půdy.

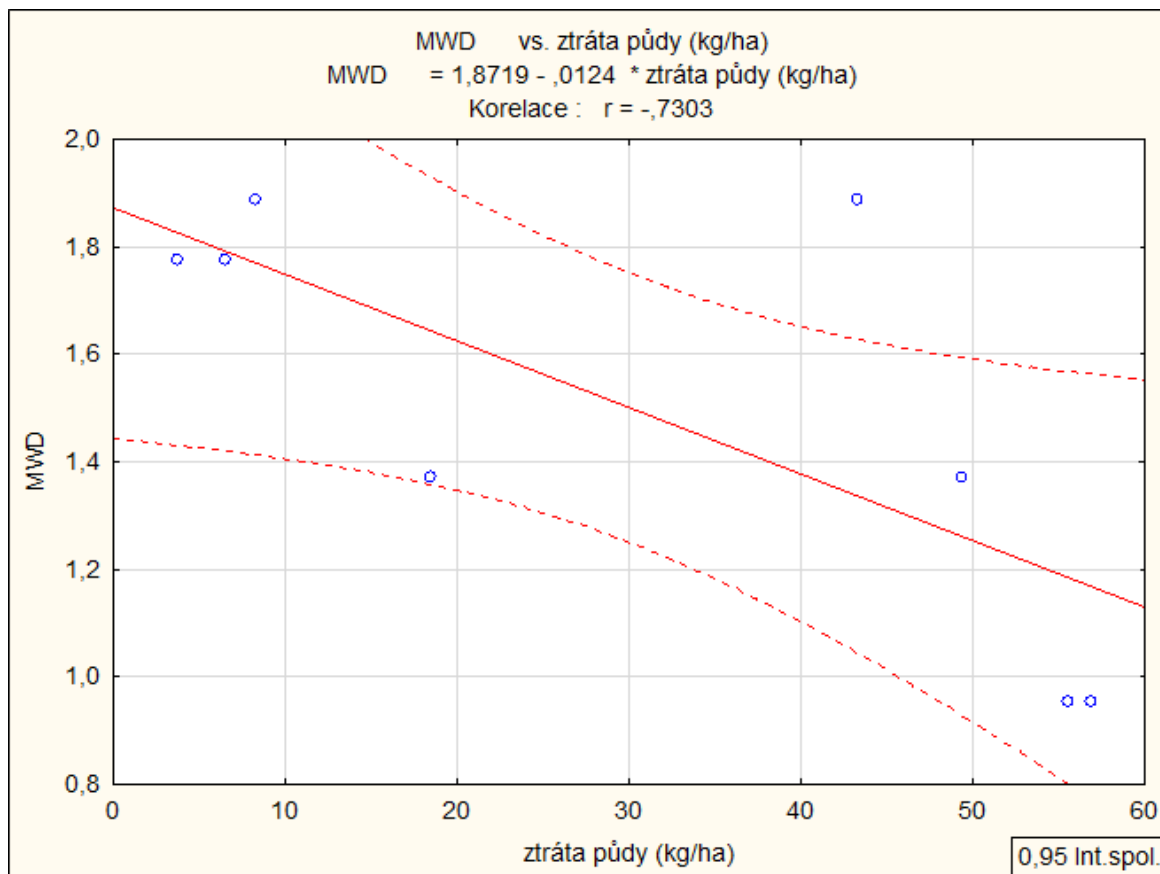
	Součet	Počet st. volnosti	Průměr	F	p-hodnota
Regrese	2008,718	1	2008,718	6,858808	0,039643
Reziduum	1757,201	6	292,867		
Celkem	3765,919				

Tab. 14 Výsledek regrese se závislou proměnnou ztráta půdy (kg/ha) a nezávislou proměnnou MWD



	Průměry	Sm. odchylka	Ztráta půdy (kg/ha)	MWD (mm)
Ztráta půdy (kg/ha)	30,18750	23,19458	1,0	-0,730338
MWD (mm)	1,49818	0,39322	-0,730338	1,0

Tab. 15 Výsledek korelace ověřující závislost ztráty půdy na hodnotě MWD



Obr. 25 Korelační graf závislosti ztráty půdy na hodnotě MWD

#### 10.3.2.4 Ztráta půdy byla závislá na zrnitostním složení půdy (částicích půdy <0,01mm)

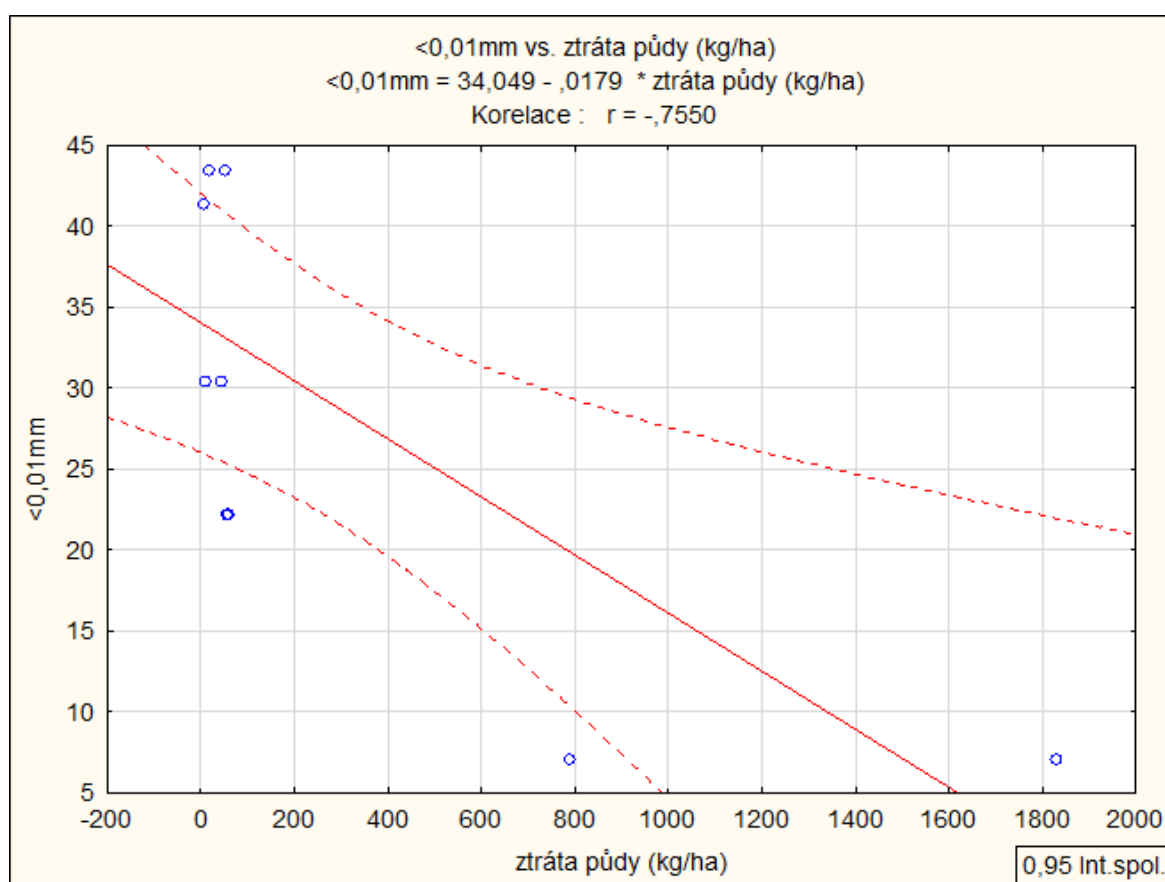
Poslední byla testována hypotéza, jestli ztráta půdy (kg/ha) byla závislá na obsahu částic půdy <0,01 mm. Po provedení a získání výsledků regrese ( $F = 10,607$ ;  $p = 0,01158$ ; Tab. 16) byl prokázán významný vliv ztráty půdy (kg/ha) na obsahu částic půdy <0,01 mm. Z výsledku korelace a korelačního grafu vyplývá (Tab. 17; Obr. 26), že obsah částic půdy <0,01 (mm) negativně koreluje s velikostí ztráty půdy (kg/ha). To znamená, že čím je větší ztráta půdy, tím je nižší obsah částic <0,01 mm v půdě, které mohou určit půdní druh (písčité mají nejmenší obsah a podléhají nejvíc erozi, jílovité mají nejvyšší obsah a podléhají nejméně erozi).

	Součet	Počet st. volnosti	Průměr	F	p-hodnota
Regrese	794,642	1	794,6422	10,12731	0,019019
Reziduum	470,791	6	78,4652		
Celkem	1265,434				

Tab. 16 Výsledek regrese se závislou proměnnou ztráta půdy (kg/ha) a nezávislou proměnnou obsah částic půdy <0,01 mm

	Průměry	Sm. odchylka	Ztráta půdy (kg/ha)	MWD (mm)
<0,01 mm	28,9200	14,0775	1,0	-0,755014
Ztráta půdy (kg/ha)	285,8620	592,4243	-0,755014	1,0

Tab. 17 Výsledek korelace ověřující závislost ztráty půdy na obsahu částic půdy <0,01 mm



Obr. 26 Korelační graf závislosti ztráty půdy na obsahu částic půdy <0,01 mm

## 11 Diskuze

Cílem této práce bylo vyhodnotit ztrátu půdy a úbytek organické hmoty větrnou erozí. Zhodnoceny byly výsledky šesti měření realizovaných mobilním větrným simulátorem (větrným tunelem). Data umožnila vyhodnocení vztahů mezi charakteristikami půdy, charakterem jejího povrchu a mezi množstvím a kvalitou odvátného sedimentu. Množství uhlíku v sedimentu bylo vyhodnoceno ve dvou formách. První forma byla v podobě uhlíku navázaného na půdní částice odvátné spolu se sedimentem, druhá forma byla v podobě primární organické hmoty, kterou též obsahoval zachycený sediment (rostlinné organické zbytky, kořínky).

Na šesti měřených lokalitách došlo průměrně ke ztrátě 286 kg/ha půdy. Analýzami byl zjištěn dvojnásobný obsah Cox v odvátném sedimentu oproti polovičnímu obsahu v samotné půdě. Průměrné hodnoty obsahu uhlíku pro 6 hodnocených lokalit byly 3 % pro vzorek sedimentu a 1,5 % pro vzorek zeminy. Z tohoto pohledu má větrná eroze shodné rysy s erozí vodní, kdy Kadlec a kol. (2012) stanovili (enrichment ratio) poměr obohacení uhlíkem (Cox sediment/Cox půda) v rozmezí 1,5 – 2. Z analýz odvátného sedimentu vyplývá, že převážná část zrn zachycených v cyklónu je o velikosti  $<0,1$  mm (cca 90 %), resp. výjimku tvoří lokalita č. 6, kde byl jako u jediné naměřen obsah této frakce na úrovni cca 50 %. Organická hmota je vázána především na tyto jemné, prachovité částice a při nestabilitě půdy je tedy kromě minerálního podílu odnášeno i množství organické hmoty navázané na tyto částice. Množství uhlíku v primární organice ležící volně na povrchu nebo těsně pod ním bylo stanoveno na přibližně 9 % z váhy sedimentu. Po zahrnutí tohoto množství do výpočtu tvořilo celkové množství odvátného uhlíku v obou formách přibližně 12 % z hmotnosti odvátného sedimentu. Stanovená procenta odpovídají průměrně 7,6 kg/ha organické hmoty a 8,6 kg/ha primární organiky (celkem 16,2 kg/ha organiky), které byly odvátny z proměřované plochy během simulace větrné eroze.

Mapy potenciálu ohrožení půdy větrnou erozí v České republice vycházejí z kombinace klimatických dat a zrnitostního složení půdy (Janeček a kol., 2002; Podhrázská a kol., 2011), kdy za nejohroženější jsou považovány půdy lehké vyskytující se v klimaticky teplých a suchých oblastech. Naopak z dřívějších prací (Pasák, 1948) vyplývá, že půdy s vyšším obsahem jemné frakce ( $<0,01$  mm) nejsou větrnou erozí ohrožené.

Toto částečně vyvrací Podhrazská a kol., 2016, která k větrnou erozi ohroženým půdám řadí také půdy extrémně těžké, které se po promrznutí chovají jako půdy zrnitější na povrchu, a tedy erozi náchylné. Diplomová práce potvrzuje fakt, že nejvíce ohrožené jsou lehké půdy (nejvyšší ztráta půdy 2a – písčité půda 1828,25 kg/ha), ale i u středně těžkých půd byl zjištěn značný odnos půdních částic (druhá nejvyšší ztráta půdy 3a – písčitohlinitá půda 56,83 kg/ha), což je doposud opomíjený fakt, kdy jsou půdy středně těžké považovány za erozně neohrožené. Jedním z faktorů může být i změna klimatu, kdy v České republice dochází ke stále většímu suchu a teplu, které způsobuje větší náchylnost půd k větrné erozi a podporuje intenzitu erozně nebezpečných větrů.

Zjištěná ztráta půdy (kg/ha) negativně korelovala s množstvím Cox v půdě (čím je ztráta půdy vyšší, tím je nižší obsah Cox), s hodnotami MWD (čím je ztráta půdy vyšší, tím je nižší hodnota MWD) i s obsahem částic <0,01 mm (čím je ztráta půdy vyšší, tím je nižší obsah částic <0,01 mm). Na tyto hodnoty je však třeba se podívat komplexně. Stabilita půdní struktury, vyjádřená hodnotou MWD (mm), ukazuje na poměrně logické, ale také zásadní zjištění, že stabilita povrchové vrstvy půdy výrazně snižuje projevy větrné eroze. Hodnota MWD je v literatuře spojována především s projevy vodní eroze (Rohošková, Valla, 2004; Le Bissonnais, 1996; ISO 10930, 2012).

K podobným závěrům došli i Zamani a Mahmoodabadi, 2013, kteří zkoumali dva různé půdní vzorky a jejich erodibilitu pomocí větrného tunelu. První vzorek byl odebrán z kultivované půdy a druhý vzorek byl odebrán z písčiny. K určení stability půdní struktury byly také jako v této práci použity hodnoty MWD. Tento výzkum se shoduje s výsledky v této práci, zaznamenali také větší ztrátu na lehkých půdách než na těch středních, z čehož vyplývá, že zrnitostní složení má velký význam v náchylnosti půdy k větrné erozi. Shodují se také ve výsledcích závislosti MWD, že čím nižší je stabilita půdních částic zjištěná metodou MWD, tím dochází k větší ztrátě půdy. Z těchto poznatků lze konstatovat, že metoda určená primárně k hodnocení náchylnosti půdy k vodní erozi může posloužit i jako jeden z nástrojů pro hodnocení náchylnosti půdy k větrné erozi, protože půdy, které mají podle této metody nízkou stabilitu, jsou půdy ohrožené vodní i větrnou erozí.

Zajímavé bylo, že z výsledků v této práci nebyla zjištěna závislost mezi variantou měření I. – Xa na přirozeném povrchu a variantou II. – Xb na upraveném povrchu. Předpoklad byl, že po narušení půdní krusty, tedy procesu, který standardizuje povrch, bude vždy ztráta půdy nižší, což se nepotvrdilo, a proto pro další zhodnocení vlivu byla

zvolena pouze data z měření variantou I. Přes zajímavé poznatky a výsledky této práce by bylo vhodné do budoucna naměřit více dat na odlišných půdách a lokalitách simulátorem větru a zkusit měřit i na jiných typech rostlinného pokryvu, než byla půda připravená k setí po obilovině.

Z výsledků uvedených v práci vyplývá, že větrná eroze může způsobovat degradaci půdy, ochuzuje jí o značné množství uhlíku, ať už ve formě navázané na půdní částice či v podobě primární organiky, a proto je důležité budovat v krajině vhodná protierozní opatření. Vhodně volené větrolamy významně snižují ohrožení větrnou erozí, důležitá je ale i správná péče o půdu. Pokud budou na povrchu agregáty větších velikostí a v okolí bude snaha o zadržení vody v krajině, může se tím značně snížit ztráta půdy vlivem unášecí síly větru.

Větrnou erozí tak není ohrožena pouze ornice, ale celkově stabilita půdy, která ztrácí zdroj primární organické hmoty, a je tedy uveden do pohybu koloběh negativ, který obecně způsobuje ochuzování půdy o její organickou složku (půdy jsou snáze náchylné k utužení, snižuje se stabilita půdní struktury, podporuje se vysušnost).

## 12 Závěr

Cílem této práce bylo vyhodnotit ztrátu půdy a úbytek organické hmoty větrnou erozí. Zhodnoceno bylo šest měření realizovaných mobilním větrným simulátorem vyvinutém ve Výzkumné ústavu meliorací a ochrany půd v.v.i. Množství uhlíku v sedimentu bylo vyhodnoceno ve dvou formách. První forma byla v podobě uhlíku navázaného na půdní částice a druhá forma byla v podobě primární organiky (rostlinné organické zbytky a kořínky). Průměrně došlo ke ztrátě 286 kg/ha půdy. Z provedených měření vyplynulo, že množství organické hmoty v půdě na měřených lokalitách tvořilo pouze 1,5 %, množství organické hmoty v odvátém sedimentu obsahovalo přibližně 3 %. Množství organické hmoty je v sedimentu jednou tak vyšší než v půdě. K tomuto jevu dochází, protože organická hmota je navázána na nejmenší a nejjemnější částice půdy, které jsou zároveň nejvíce náchylné k erozi. Množství uhlíku ležícího volně na povrchu bylo zjištěno přibližně 9 % (8,6 kg/ha), množství uhlíku navázaného na částice bylo zjištěno pouze 3 % (7,6 kg/ha). Z celého sedimentu tvoří 12 % organická hmota po zahrnutí často doposud vynechávané primární organiky. Ztráta půdy (kg/ha) negativně korelovala s množstvím Cox v půdě, s hodnotami MWD a s obsahem částic <0,01 mm. Bylo zjištěno, že je vhodné měřit na přirozeném povrchu (varianta I), na ztrátu půdy měl prokazatelně vliv i půdní druh, typ a suché, teplé klima. Z výsledků je patrné, že nejvíce jsou ohrožené půdy lehké vyskytující se v teplých suchých oblastech (nejvyšší ztráta půdy 2a – písčité 1828,25 kg/ha), ale zároveň i na půdě středně těžké (druhá nejvyšší ztráta půdy 3a – písčitohlinitá 56,83 kg/ha) byl zaznamenán značný odnos půdy.

Přínosem předložené práce jsou především konkrétní měřitelná představitelná data popisující, jaká je reálná ztráta půdy v krajině na nechráněném zemědělském pozemku. Opravdu dochází k značnému odnosu nejen zeminy ale i organiky, která je v půdě nejdůležitější pro její úrodnost. Dalším důležitým poznatkem je, že do měření obsahu uhlíku v sedimentu se musí zahrnout i primární organika, často je totiž ve větším množství než uhlík, který je již navázaný na půdní částice. V době změn klimatu, kdy dochází k stále většímu suchu a teplu v krajině, jsou půdy stále více náchylnější k větrné erozi. Z toho vyplývá, že je nutná péče o kvalitu půdy a budování vhodných protierozních opatření. Je důležité chránit půdu nejen před vodní erozí, ale i před větrnou erozí, která může způsobit dehumifikaci – závažnou ztrátu organické hmoty.

## 13 Literární zdroje

Amezketá E., Winter M., Le Bissonais Y., 1996: Testing a procedure for measuring water-stable aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 60, 888-894.

Avecilla, F., Panebianco, J. E., Buschiazzi, D.E., 2015: Variable effects of saltation and soil properties on wind erosion of different textured soils. *Aeolian Research* 18:145–153.

Bartošková K., Vlasák J., 2007: *Pozemkové úpravy*, ČVUT, Praha, 168 s.

Boardman J., Poesen J., 2006: *Soil erosion in Europe*, Wiley-Interscience, xxii, Chichester, 855.

Borrelli P., Panagos P., Montanarella L., 2015: New insights into the geography and modelling of wind erosion in the European agricultural land, Application of a spatially explicit indicator of land susceptibility to wind erosion, *Sustainability* 7:8823-8836.

CENIA, 2013: *Zpráva o životním prostředí ČR 2013*, Ministerstvo životního prostředí, Praha, 219 s.

Dumborvský M. a kol., 2004: *Pozemkové úpravy*, Vysoké technické učení v Brně, Brno.

Duniway M. C., Pfennigwerth A. A., Fick S. E., Nauman T. W., Belnap J., Barger N. N., 2019: Wind erosion and dust from US drylands: a review of causes, consequences, and solutions in a changing world, *Ecosphere* 10(3), e02650: 1-19.

EAGRI, 2020: *Program rozvoje venkova ČR na období 2014-2020*, (online) [cit. 2020.03.16], dostupné z <http://eagri.cz/public/web/mze/venkov/program-rozvoje-venkova/prv-2014-2020/>.

Encyklopedie VÚMOP, 2019: *Legislativa v oblasti ochrany půdy*, (online) [cit. 2020.04.11], dostupné z [https://encyklopedie.vumop.cz/index.php/LEGISLATIVA\\_V\\_OBLASTI\\_OCHRANY\\_P%C5%AEDY](https://encyklopedie.vumop.cz/index.php/LEGISLATIVA_V_OBLASTI_OCHRANY_P%C5%AEDY).

Evropský parlament, 2019: Politika životního prostředí: obecné zásady a základní rámec, (online) [cit. 2020.04.16], dostupné z <<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/cs/sheet/71/politika-zivotniho-prostredi-obecne-zasady-a-zakladni-ramec>>.

Hálek V., 2004: Aplikace systému opatření proti vodní erozi v prostorách speciálních kultur, Acta Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně, LII č.5, Brno, 147-155.

Holý M., 1978: Protierozní ochrana, nakl. technické literatury, Praha, 283 s.

Holý M., 1994: Eroze a životní prostředí, České vysoké technické učení v Praze, Praha.

Huawei P., Huggins D. R., Sharratt B., 2019: Dry aggregate stability of soils influenced by crop rotation, soil amendment, and tillage in the Columbia Plateau, Aeolian Research 40: 65-73.

Chepil, W. S., 1958: Soil conditions that influence wind erosion, Technical Bulletin, No. 1185.

ISO 112 77, 2009: Soil quality – Determination of particle size distribution in mineral soil materiál – Method by sleving and sedimentation.

ISO 109 30, 2012: Soil quality – Measurement of the stability of soil aggregates subjected to the action of water.

Janeček M. a kol., 2000: Mapy potenciální erozní ohroženosti zemědělských půd ČR vodní a větrnou erozí, Výstup z projektu NAZV EP7057 Způsoby omezení degradace půd erozí a systémy protierozní ochrany, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd v.v.i. Praha.

Janeček M. a kol., 2002: Ochrana zemědělské půdy před erozí, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i., Praha.

Janeček M. a kol., 2007: Ochrana zemědělské půdy před erozí, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i., Praha.

Janeček M. a kol., 2008: Základy erodologie, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 172 s.



- Janeček M. a kol., 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 117 s.
- Janků J. a kol., 2016.: Land use analysis in terms of farmland protection in the Czech Republic, *SWR*, 11: 20-28.
- Janků J. a kol., 2019: Půda a legislativa, Česká technologická platforma pro zemědělství, (online) [cit. 2020.05.13], dostupné z <<https://www.ctpz.cz/vyzkum/puda-a-legislativa-866>>.
- Jeřábková J., 2019: Proč je důležitá organická hmota v půdě, (online) [cit. 2020.02.17], dostupné z <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/proc-je-dulezita-organicka-hmota-v-pude>>.
- Kapička J., Žížala D. a kol., 2018: Monitoring eroze zemědělské půdy: Závěrečná zpráva za rok 2018, (online) [cit. 2020.03.20], dostupné z <[http://me.vumop.cz/docs/ZZ\\_monitoring\\_2018.pdf](http://me.vumop.cz/docs/ZZ_monitoring_2018.pdf)>.
- Klír J., 2012: Zemědělské hospodaření ve zranitelných oblastech: certifikovaná metodika pro praxi, (online) [cit. 2020.04.11], dostupné z <<http://www.vurv.cz/sites/File/metodika%20ZOD%20NS%202012.pdf>>.
- Kozák J., Borůvka, L., Kodešová, R., Janků, J., Jacko, J., Hladík J., Němeček, J., Muhlanselová, M., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., Novák, P., Němeček, K., 2011: Soil Atlas of the Czech Republic. CULS Prague, ISBN: 978-80-213-2028-4.
- Kvítek T., Tipl M., 2003: Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.
- Le Bissonais Y., 1996: Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility. I. Theory and methodology, *European Journal of Soil Science*, 47, 425-437.
- Le Bissonais Y., De Noni G., Blavet D., Laureát J.-Y., Asseline J., Chenu C., 2006: Erodibility of Mediterranean calcareous soils: relevant aggregate stability methods and significant soil variables, *European Journal of Soil Science*, 2006.00823.x: 1365-2389.

Lee S. S., 2009: Polyacrylamide Amendment for Erosion and Runoff Control on Soils of Differing Characteristics, Dissertation, Faculty of the Graduate School Univ. of Missouri: 2-3.

Liu T., Xu X., Yang J., 2017: Experimental study on the effect of freezing-thawing cycles on wind erosion of black soil in Northeast China, *Cold Regions Science and Technology* 136: 1-8.

Ministerstvo zemědělství, 2017: Optimální prostorová struktura větrolamů a jejich vliv na aktuální ztrátu půdy větrnou erozí (Projekt QJ1330121). Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd v.v.i., Praha, 57 s.

Němeček J., Smolíková L., Kutílek M., 1990: Pedologie a paleopedologie, Academia, Praha, 552 s.

Novotný I. a kol., 2014: Příručka ochrany proti vodní erozi, 2. vyd., Ministerstvo zemědělství, Praha, 78 s.

Pasák V. a kol., 1984: Ochrana půdy před erozí, Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 160 s.

Podhrázká J., Dufková J., 2005: Protierozní ochrana půdy. 1 vyd., Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 99 s.

Podhrázká J., 2007: Metoda hodnocení větrolamů jako podklad pro stanovení jejich účinnosti, In *Acta Universitatis Mendeliana Brunensis*, LV, No. 5:123–130.

Podhrázká, J. a kol., 2008: Optimalizace funkcí větrolamů v zemědělské krajině: Metodika, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 39 s. + CD.

Podhrázká J., Litschmann T., Hradil M. a kol., 2011: Hodnocení účinnosti trvalých vegetačních bariér v ochraně proti větrné erozi. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i., Praha.

Podhrázká, J., Doležal, P., Kučera, J., Středová, H., 2016: Hodnocení rizika, řízení a návrh možnosti snížení rizika větrné eroze v zemědělské krajině. *ÚRODA*, 12/2016: 401-405.

Rohošková M., Valla M., 2004: Comparison of two methods for aggregate stability measurement – a review. *Plant Soil Environment*, 50 (8), 379-382.

Sýkora L., 2002: Suburbanizace a její sociální, ekonomické a ekologické důsledky: Výzva pro výzkum, usměrňování rozvoje území a společenskou angažovanost, 1. vyd., Ústav pro ekonomiku, Praha, 9-16.

Šimek M., 2004: Základy nauky o půdě. 4, Degradace půdy, 1. vyd., Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 225 s.

Šimek M., 2005: Základy nauky o půdě 1, Neživé složky půdy, 2. vyd., Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 159 s.

Šimon J., Lhotský J., Bambásek Z., 1989: Zpracování a zúrodnování půd, 1. vyd., SZN, Praha, 317 s.

Vopravil J., 2009: Půda a její hodnocení, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i., díl 1, Praha, 148 s.

Vrána K., Dostál T., Zuna J., Kender J., 1998: Krajinné inženýrství, Český svaz stavebních inženýrů, Praha, 200 s.

Zachar D., 1982: Soil Erosion, Developments in soil science, Elsevier, Amsterdam, 547 s.

Zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu ve znění pozdějších předpisů.

Zbíral J., Malý S., Váňa M. a kol., 2011: Jednotné pracovní postupy – Analýza půd III, Úřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno, 253 s.

Zdralek M., 1999: Ekologická stability a hodnocení krajiny, Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Ostrava.

Zamani, S., Mahmoodabadi, M., 2013: Effect of particle-size distribution on wind erosion rate and soil erodibility. *Archives of Agronomy and Soil Science*, Department of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran 59 (12): 1743–1753.