

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroekologie a biometeorologie**



**Eliminace kapkové eroze v porostech kukuřice seté**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Markéta Gemerlová**

**Vedoucí práce: Ing. Václav Brant, Ph.D.**

© 2013 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Eliminace kapkové eroze v porostech kukuřice seté" 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 literatury 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 12. 4. 2013

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Václavu Brantovi, Ph.D. za trpělivé vedení při psaní mé diplomové práce, Ing. Josefu Haklovi, Ph.D. za pomoc se statistickým vyhodnocením, Ing. Milanu Kroulíkovi, Ph.D. za analýzy obrazu a Ing. Petru Zábranskému za odběry kapkové eroze a další měření. V neposlední řadě pak patří díky lidem mém okolí, jež mě při vypracování této práce podporovali.

# Eliminace kapkové eroze v porostech kukuřice seté

## Control of splash erosion in the stands of maize

### SOUHRN

Půda je základní, omezený a neobnovitelný zdroj produkce potravin a přírodní bohatství každé země. Eroze půdy je proto významným a celosvětovým problémem. Při procesu eroze dochází k transportu půdy v rámci pozemku či mimo něj, porušení stability půdních agregátů či ztrátě organické hmoty a živin. Tyto negativní vlivy půdu poškozují, nebo přímo způsobují nezvratné ztráty půdy. Dopady eroze tak mají v konečném důsledku přesah i do roviny ekonomické. Narůstající plochy širokořádkových plodin, jejichž významným představitelem je kukuřice, proto staví otázku eroze půdy do popředí zájmu vědecké i zemědělské veřejnosti. Základním faktorem vzniku erozních procesů je kapková eroze. Na jejím počátku stojí působení dešťových kapek dopadajících na povrch půdy. Důsledkem působení energie těchto kapek je rozstřík půdy do okolí. Jednou z možností eliminace působení kapkové eroze v porostech kukuřice je využití půdoochranných technologií.

V letech 2010, 2011 a 2012 byly založeny na Výzkumné stanici v Červeném Újezdě pokusy, v nichž byl pomocí metody záchytných trychtýřů hodnocen vliv zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze (*MSR*). Dále byl posuzován vztah mezi sumou srážky, její intenzitou a hodnotou *MSR*. V neposlední řadě byla hledána závislost pokryvnosti půdy (*PCR*) a hodnotou *MSR*, a také závislost mezi *PCR* a stabilitou půdních agregátů. Hodnoceny byly následující varianty: provedení orby na podzim s následným urovnáním povrchu pozemku, provedení orby na podzim a založení porostu jílku vytrvalého do pásů, provedení orby na podzim s urovnáním povrchu pozemku na jaře (kontrolní varianta), mělké kypření půdy a provedení orby spolu s následnou tvorbou hrůbků na podzim.

Výsledky pokusu prokázaly, že technologie zpracování půdy, využívající pokryvu půdy mulčem, brání kapkové erozi, přičemž nejvýrazněji eliminoval její působení mulč jílku vytrvalého. Naopak hrůbková technologie byla náchylná k ohrožení kapkovou erozí. Dále byl zaznamenán nárůst hodnot *MSR* se zvyšující se intenzitou srážky, především v první fázi vegetace, méně pak v poslední, kde převládá obdobný vliv sumy srážky za měřené období. Při nepřítomnosti mulče či přítomnosti rychle rozložitelného rostlinného pokryvu dochází k rozpadu půdních agregátů v důsledku působení dopadajících srážek. Naopak pokryv meziřádků porostu jílkiem vytrvalým vede k nárůstu podílu stabilních agregátů.

**Klíčová slova:** kapková eroze, kukuřice setá, zpracování půdy, pokryvnost, stabilita půdních agregátů

## SUMMARY

Soil is essential, limited and nonrecoverable factor of food production and nature wealth of every country. Thus soil erosion is an important global problem. During the erosion process soil is being transported within or out of a parcel, soil aggregates break down, loss of soil organic content and nutrients occur. These negative impacts cause serious soil damage or even nonreversible soil loss. Economical impact of soil erosion is not negligible either. Growing areas of wide-row crops (typically maize) bring the question of soil erosion to the attention of scientific and agriculture community. Splash erosion is one of principal factors of soil erosion. At the beginning of the process are raindrops hitting ground with their impact energy effecting the soil to splash away. One of the possibilities to control splash erosion is utilization of conservation tillage.

Experiments were set up at research station Červený Újezd for years 2010, 2011, 2012. Impact of soil tillage technologies in relation to values of splash erosion (*MSR*) was evaluated with use of splash funnels. Sum of precipitation and its intensity in relation to *MSR* value was also evaluated. Finally the dependence of soil cover (*PCR*) on *MSR* values and the dependence of soil aggregates stability on *PCR* were researched. Evaluated variants were: autumn ploughing with smoothing of the surface; autumn ploughing followed by perennial ryegrass strip sowing; autumn ploughing with spring seed preparation (control variant); shallow loosening; ploughing followed by formation of ridges in autumn.

Results showed that soil tillage technologies with mulch covering surface prevent splash erosion. Most strongly was splash erosion eliminated by perennial ryegrass mulch. On the contrary ridge tillage was susceptible to splash erosion. Next the growth of *MSR* values with rising precipitation intensity was observed especially in first period of vegetation, less markedly in the last period, in which the influence of precipitation sum was dominant driver. Relation of soil aggregates stability breakdown to precipitation impact was determined to be caused by the lack of mulch or rapidly decomposable plant material cover. Conversely the perennial ryegrass interrow cover leads to higher ratio of stable aggregates.

**Keywords:** splash erosion, maize soil tillage, soil cover, soil aggregates stability

## Obsah

<b>1.</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>VĚDECKÁ HYPOTÉZA A CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>LITERÁRNÍ REŠERŠE .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1.</b>	<b>Eroze půdy jako pojem .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2.</b>	<b>Mechanismus eroze.....</b>	<b>3</b>
<b>3.3.</b>	<b>Dopady eroze.....</b>	<b>4</b>
<b>3.4.</b>	<b>Větrná eroze .....</b>	<b>5</b>
3.4.1.	Větrná eroze jako pojem .....	5
3.4.2.	Proces větrné eroze .....	5
3.4.3.	Faktory ovlivňující erozi.....	7
<b>3.5.</b>	<b>Vodní eroze.....</b>	<b>7</b>
3.5.1.	Erozní proces .....	8
3.5.2.	Formy eroze .....	9
<b>3.6.</b>	<b>Kapková eroze (Splash erosion) .....</b>	<b>12</b>
3.6.1.	Měření kapkové eroze.....	13
3.6.2.	Erozivita - erozní účinnost dešťových srážek .....	14
3.6.3.	Struktura půdy.....	15
3.6.4.	Vliv vegetace .....	16
3.6.5.	Vliv mulče - živý a mrtvý mulč .....	17
<b>3.7.</b>	<b>Eliminace eroze na orné půdě.....</b>	<b>17</b>
3.7.1.	Opatření technického charakteru .....	18
3.7.2.	Opatření organizačního charakteru .....	18
3.7.3.	Agrotechnická opatření.....	19
<b>3.8.</b>	<b>Půdoochranné způsoby zpracování půdy .....</b>	<b>20</b>
3.8.1.	Přímé setí do mulče z rostlinných zbytků (no-tillage).....	20
3.8.2.	Setí do mulče (mulch tillage).....	21
3.8.3.	Pásové zpracování půdy (strip-tillage) .....	21
3.8.4.	Hrůbkové zpracování půdy (ridge-tillage).....	22
<b>3.9.</b>	<b>Erozní procesy a jejich eliminace v kukuřici .....</b>	<b>22</b>
<b>3.10.</b>	<b>Eroze zemědělské půdy a legislativa České republiky .....</b>	<b>24</b>

3.10.1. GAEC 1.....	24
3.10.2. GAEC 2.....	25
<b>4. MATERIÁL A METODY .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1. Pokusná lokalita.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2. Schéma pokusu a pokusné varianty.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3. Agrotechnika porostů.....</b>	<b>28</b>
4.3.1. Hospodářský rok 2009 – 2010 .....	28
4.3.2. Hospodářský rok 2010 – 2011 .....	29
4.3.3. Hospodářský rok 2011 – 2012 .....	30
<b>4.4. Hodnocené charakteristiky.....</b>	<b>30</b>
4.4.1. Kapková eroze (splash).....	30
4.4.2. Pokryvnost půdy vegetací a rostlinnými zbytky.....	32
4.4.3. Stabilita půdních agregátů .....	33
4.4.4. Úhrn srážek, intenzita srážky.....	33
4.4.5. Statistické vyhodnocení .....	33
<b>5. VÝSLEDKY.....</b>	<b>36</b>
<b>5.1. Kapková eroze.....</b>	<b>36</b>
5.1.1. Rok 2010.....	36
5.1.2. Rok 2011 .....	37
5.1.3. Rok 2012.....	37
<b>5.2. Pokryvnost půdy vegetací a rostlinnými zbytky.....</b>	<b>42</b>
5.2.1. Rok 2010.....	42
5.2.2. Rok 2011.....	43
5.2.3. Rok 2012.....	44
<b>5.3. Stabilita půdních agregátů.....</b>	<b>45</b>
5.3.1. Varianty bez hrůbků.....	45
5.3.2. Varianta s hrůbký.....	46
5.3.3. Závislost podílu stabilních agregátů na pokryvnosti půdy .....	47
<b>6. DISKUSE .....</b>	<b>48</b>

<b>6.1.</b>	<b>Vliv technologie zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze a jejich souvislost s významem pokryvu povrchu půdy .....</b>	<b>48</b>
<b>6.2.</b>	<b>Vliv technologie zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze a jejich souvislost se stabilitou půdních agregátů .....</b>	<b>49</b>
<b>6.3.</b>	<b>Vliv technologie zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze a jejich souvislost s intenzitou a sumou srážky .....</b>	<b>51</b>
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>52</b>
<b>8.</b>	<b>SEZNAM LITERATURY .....</b>	<b>53</b>



## 1. ÚVOD

Půda je základní, omezený a neobnovitelný zdroj produkce potravin a přírodní bohatství každé země. Eroze půdy je proto významným a celosvětovým problémem. Při procesu eroze dochází k transportu půdy v rámci pozemku či mimo něj, porušení stability půdních agregátů či ztrátě organické hmoty a živin. Tyto negativní vlivy půdu poškozují, nebo přímo způsobují nezvratné ztráty půdy. Dopady eroze tak mají v konečném důsledku přesah i do roviny ekonomické. Nezanedbatelné jsou také různé efekty eroze na životní prostředí, od eutrofizace vod až po zvýšení rizika záplav v okolí zanesených vodních toků.

Erozi jsou ohroženy všechny zemědělské plochy jako pastviny či sady a vinice. Nejvíce náchylná je ale orná půda, neboť často zůstává bez pokryvu nebo jen s minimem posklizňových zbytků v mezíporostním období. Během vegetačního období pak projevují zvýšenou náchylnost k erozi především porosty širokořádkových plodin. Je proto logické, že porosty kukuřice, jež je světově nejvýznamnější širokořádkovou plodinou, se z pohledu rizika eroze řadí k velmi ohroženým.

Také Evropská unie si je vědoma problematiky eroze. Proto byly pro pěstitele v zemích EU definovány zásady správné zemědělské a environmentální praxe (GAEC). Omezení eroze se věnují první dvě z těchto zásad – GAEC 1 a GAEC 2. Jejich dodržování patří mezi podmínky k získání přímých dotací.

Z důvodu závažnosti erozních procesů je potřebné věnovat zvýšené úsilí hledání nových metod zpracování půdy a zakládání porostů, jež by napomáhaly eliminaci eroze. Z tohoto důvodu byly v letech 2010, 2011 a 2012 založeny pokusy, v nichž byl posuzován vliv technologií zpracování půdy a zakládání porostů na hodnoty kapkové eroze, která je častým iniciátorem následných erozních procesů. Mezi jinými byly ověřovány technologie zpracování půdy, které využívají živého či mrtvého mulče či vyšší drsnosti povrchu k pohlcení energie dopadajících kapek.

## 2. VĚDECKÁ HYPOTÉZA A CÍLE PRÁCE

Cílem práce bylo ověřit vliv rozdílných půdoochranných technologií zpracování půdy ke kukuřici seté na hodnoty kapkové eroze. V rámci hlavního cíle byly stanoveny následující dílčí cíle:

- Stanovit vliv rozdílných půdoochranných technologií na množství rozstříknuté půdy v porostech kukuřice v průběhu vegetace.
- Prokázat závislost mezi hodnotami kapkové eroze a sumou a intenzitou srážek.
- Stanovit závislost mezi pokryvností půdy a hodnotami kapkové eroze a stabilitou půdních agregátů.

Stanovené dílčí cíle vycházejí s následujících hypotéz:

H<sub>1</sub>: Rozdílné půdoochranné technologie zpracování půdy odlišně přispívají k eliminaci kapkové eroze.

H<sub>2</sub>: S narůstající intenzitou a sumou srážky rostou hodnoty kapkové eroze.

H<sub>3</sub>: Nárůst hodnoty pokryvnosti půdy mulčem vede k poklesu hodnot kapkové eroze a ke zvýšení stability půdních agregátů.

### **3. LITERÁRNÍ REŠERŠE**

#### **3.1. Eroze půdy jako pojem**

Problém eroze je starý jako zemědělství samo. Datuje se už od dob starých civilizací v Mezopotámii, Řecku, Římě a dalších oblastech Blízkého východu. Ty hospodařily poblíž velkých řek, například mezi řekami Eufrat a Tigris v Mezopotámii. Jejich zánik tak mohl být přímým důsledkem nevratných poškození půd, jak se domnívá Hugh Hammond Bennett, který je označován za „otce konzervace půdy“ ve Spojených státech (Blanco et Lal, 2008).

Výraz eroze půdy se v literatuře objevuje běžně od 30. a zejména od 40. let minulého století, i když termín eroze byl znám již dříve. Poprvé jej použil W. J. McGee v roce 1911. Všeobecně se pod pojmem eroze půdy rozumí především mechanické rozrušování půdy vodou a větrem, případně jinými destruktivními činiteli (Janeček a kol., 2002).

Zachar (1982) definuje erozi jako narušení svrchní části zemské kůry (pedosféry) nebo pod ní se nacházející vrstvy hornin (litosféry), vznikající v důsledku působení činitelů exogenního původu. Mezi tyto činitele patří jednak činitele abiotické (voda, sníh, led, vítr a již zvětralé částice) a biotické, což jsou organismy (rostliny a živočichové) a člověk.

Podle Janečka a kol. (2002) se eroze v současné době definuje jako komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody, větru, ledu a jiných tzv. erozních činitelů.

Blanco a Lal (2008) uvádí dva hlavní typy eroze: geologickou a zrychlenou erozi. Geologická eroze je běžný proces zvětrávání, který obvykle nastává v malé míře na všech půdách, a běžnou součástí procesu tvorby půdy. Probíhá po dlouhá geologická období a není ovlivňován lidskou činností. Odnos hornin a tvorba půdních profilů jsou tedy procesy ovlivněné pomalým, ale dlouhodobým působením geologické eroze. Nízká míra eroze je tedy nezbytná pro tvorbu půdy. Naproti tomu, pokud míra eroze překročí určitou kritickou hodnotu, nastává proces zrychlené eroze, což s sebou přináší všechny problémy s tímto jevem spojené. Zrychlená eroze je vyvolána antropogenním působením, jako je odlesňování, žďáření, intenzivní orba, intenzivní nekontrolované vypásání a spalování biomasy.

#### **3.2. Mechanismus eroze**

Eroze půdy je dvoufázový proces, sestávající z oddělení jednotlivých půdních částic od půdy a jejich transportu erozivními činiteli jako jsou voda či vítr. Pokud je energie

potřebná k transportu částice vyčerpána, nastává třetí fáze – depozice erodovaného materiálu (Morgan, 2005).

Morgan (2005) dále dělí původce eroze na ty, které působí plošně a odstraňují relativně stejnoměrnou vrstvu půdy a na skupinu původců, kteří působí jen v určitých částech plochy. První skupina zahrnuje kapkovou erozi, povrchový odtok a vítr. Do druhé patří rýhová a výmolová (stržová) eroze a v korytech řek pak eroze proudová. Závažnost eroze pak závisí na množství materiálu, který může být erodován za určitý čas a schopnosti erozivních činitelů toto množství transportovat.

### **3.3. Dopady eroze**

Zrychlená eroze způsobuje nežádoucí dopady v oblasti zemědělství, ekologie a životního prostředí a také ekonomiky. Nezasahuje totiž pouze ornou půdu, ale také lesy, pastviny a ostatní nezemědělskou půdu. Nejvíce náchylná k erozi je ale orná půda, neboť často zůstává bez pokryvu nebo jen s minimem posklizňových zbytků v meziporostním období. Během vegetačního období projevují zvýšenou náchylnost k erozi porosty seté do řádků (Blanco et Lal, 2008).

Dopady zrychlené eroze lze rozdělit na dvě hlavní skupiny. Přímé dopady jsou patrné především na zemědělské půdě, kde dochází, mimo jiné, k redistribuci půdy v rámci pole, ale také k odnosu půdy z pozemků (Morgan, 2005). Přímý vliv eroze na zemědělskou půdu bude rozveden v dalších kapitolách.

Nepřímé dopady nastávají jako důsledek sedimentace částic unášených vodou či větrem. Jedná se například o zanášení koryt řek a odvodňovacích kanálů, což zvyšuje riziko povodní. K usazování erodovaných částic také dochází ve vodních nádržích, kde tento sediment mimo jiné narušuje životní prostředí žijících organismů a působí eutrofizaci (jako důsledek nárůstu obsahu dusíku a fosforu, které jsou do vody splavovány). V neposlední řadě se eroze také podílí na změnách klimatu, neboť při rozpadu půdních částic dochází k uvolňování CO<sub>2</sub> z jílových částic a organické hmoty (Morgan, 2005).

Větrná eroze způsobuje prachové znečištění ovzduší, které má za následek změny atmosférického záření, snižuje viditelnost a způsobuje komplikace v dopravě. Částice prachu pronikají do budov a obydlí, zahrad a vodních nádrží, ukládají se na polích, v řekách, jezerech a studnách, kde působí chemické a mechanické znečištění a zvyšují náklady na údržbu (Blanco et Lal, 2008).

Podle erozních činitelů je možné erozi třídit na erozi vodní (akvatickou), větrnou (eolickou), ledovcovou (glaciální), sněhovou atd. (Janeček a kol., 2002)

### **3.4. Větrná eroze**

#### **3.4.1. Větrná eroze jako pojem**

Větrná eroze, také známá pod pojmem eolická, je dynamický proces, kde jsou půdní částice odděleny od povrchu půdy a přeneseny silou proudícího vzduchu. K tomu dochází, pokud rychlost větru překročí prahovou hodnotu (Blanco et Lal, 2008). Williams a kol. (1995) definují tuto prahovou hodnotu jako rychlost větru, která je potřebná pro oddělení částic od povrchu. Zároveň se také jedná o hodnotu, která udává náchylnost prostředí k erozi. Stupeň a rozsah větrné eroze jsou pak dány probíhajícími geologickými, antropogenními a klimatickými procesy. Například písečné bouře mohou být způsobeny náhlými výkyvy počasí (Blanco et Lal, 2008).

Blanco a Lal (2008) dále uvádí, že větrná eroze je vlastně důsledek složitých interakcí mezi srážkami, intenzitou větru, hrubostí povrchu, strukturou půdy a její schopností tvořit půdní agregáty, zemědělským využitím půdy, vegetačním pokryvem a velikostí pozemků. Mezi půdami, které jsou k větrné erozi nejnáchylnější, patří zemědělská půda s nízkým obsahem organické hmoty, kde je prováděna orba, a také intenzivně spásané a sešlapávané pastviny.

Větrná eroze se vyskytuje především v území, kde je počasí charakterizováno nízkými a proměnlivými srážkami, proměnlivou a vysokou rychlostí větru, častým výskytem sucha, rychlými a extrémními změnami teploty a vysokým výparem, tzn. v aridních oblastech, ale i v oblastech semiaridních. Její výskyt byl zaznamenán převážně tam, kde je půda bez rostlinstva, nebo kde je rostlinný pokryv jen slabě vyvinut (Dufková a Toman, 2004).

#### **3.4.2. Proces větrné eroze**

Během větrné eroze dochází působením větru postupně ke třem fázím. Nejdříve je částice půdy oddělena od povrchu erozivní silou větru. Tyto částice do sebe vzájemně narážejí, v důsledku čehož se obrušují a případně rozpadají na menší. Ve druhé fázi jsou částice transportovány, jak je popsáno níže. Jako třetí pak nastává fáze depozice. K té dochází, pokud je gravitační síla větší než síla větru držícího částice půdy ve vzduchu. Rychlost větru může být snížena např. překážkami stojícími v cestě unášeným částicím

(přirozené i umělé větrolamy, vegetace). Pokud se současně s větrem vyskytují také srážky, dochází poté k zachycování uvolněných částic kapkami a k jejich následnému deponování (Blanco et Lal, 2008).

Částice uvedené do pohybu energií větru mohou být transportovány třemi způsoby dle jejich velikosti. Jedná se o unášení ve formě suspenze, o pohyb skokem (saltaci) a o sunutí po povrchu. (Morgan, 2005). Janeček a kol. (2002) k tomu dodává, že nejjemnější částice odnášené ve formě suspenze mohou být transportovány ve vrstvě vzduchu vysoko nad povrchem na velké vzdálenosti. Částice pohybující se saltací jsou pak většinou přemístěny do jiných území. Na místě naopak zůstávají částice hrubozrnné a kamenité vrstvy. To má za následek zhoršování fyzikálních vlastností půd a vede to k tzv. skeletizaci půd.

Částice unášené vzduchem ve formě suspenze jsou obvykle velmi malého průměru. Jednotliví autoři se v názoru na nejmenší průměr těchto částic velmi liší. Blanco a Lal (2008) udává hodnotu menší než 0,1 mm, Janeček a kol. (2002) menší než 0,01 mm, Morgan (2005) pak uvádí méně než 0,2 mm. Při překročení prahové hodnoty jsou tyto jemné částičky půdy vyzdvíženy do výšky několika desítek až stovek metrů. Protože jejich hmotnost je velmi malá, zůstávají dlouhou dobu ve vzduchu a mohou být přenášeny na velké vzdálenosti. Ačkoli je tímto druhem pohybu přepravováno jen malé procento objemu erodované půdy, jde o její nejúrodnější složku (Janeček a kol., 2002).

Kromě ztráty půdy částic působí tyto uvolněné částice ještě vedlejšími negativními efekty, jako jsou kontaminace vod a potravin, zhoršení stavu respiračních onemocnění a další rizika spojená s šířením škodlivých patogenů, a také poškozují elektrické stroje a další mechanická zařízení. V neposlední řadě také dochází ke snížení viditelnosti v silniční, železniční i letecké dopravě (Morgan, 2005).

Saltace je skákavý pohyb částic písku, které jsou hnány větrem po uvolnění z erodovaného povrchu půdy. Při tomto pohybu nejsou přenášeny jen samotné částice pohybující se skokem, ale také jemný prach, který se uvolní do ovzduší jako důsledek nárazu větších částic (Shao et al., 1993). Díky tomuto nežádoucímu efektu řadí Janeček a kol. (2002) tento druh eolické eroze mezi nejškodlivější. Především má tento pohyb za následek škody na klíčících rostlinách zasažených letícími částicemi.

Janeček a kol. (2002) k saltaci dále uvádí, že se jedná o hlavní druh pohybu částic při větrné erozi. Přepraveno je takto přibližně 50 – 80 % z celkové erodované zeminy. Tato erodovaná hmota je přesunována zhruba 0,30 m nad zemí.

Částice, které jsou příliš velké, než aby byly unášeny vzduchem, jsou hnány, tlačeny a valeny, a to vlivem částic, které vykonávají saltaci. Obvykle je takto unášeno asi 7 – 25 %

z celkové erodované hmoty. Avšak dosahuje-li rychlost větru vysokých hodnot, je možné pozorovat, jako by se sunul vpřed celý povrch. Ačkoli se zdá, že tato část větrné eroze povrch příliš neohrožuje, není tomu tak. Sunoucí se částice jsou vzájemně obrušovány, čímž dochází k jejich zmenšování. To má za následek rozpad těchto částic, jehož důsledkem je, že menší částice se dále mohou pohybovat saltací nebo ve formě suspenze (Bangold, 1941).

### **3.4.3. Faktory ovlivňující erozi**

Blanco a Lal (2008) popisují větrnou erozi jako důsledek součinnosti více faktorů souvisejících s klimatem, půdou, povrchem pozemku a způsobem jeho obhospodařování.

K uvedení částic půdy do pohybu pak dochází v souladu s Newtonovým Prvním pohybovým zákonem. Pokud je síla působícího větru větší než síla odporu kladeného prostředím, pak dochází k pohybu nestabilních částic půdy. Pokud jsou síly odporu kladené prostředím větší, pak k pohybu těchto částic nedochází. Jako dynamický hybatel pak tedy můžeme označit energii větru, zatímco mezi statické hybatele, které kladou odpor působení větru, řadíme vlhkost půdy, vegetační pokryv, případně posklizňové zbytky, hrubost povrchu, velikost částic na povrchu, strukturu půdy a soudržnost půdních částic a půdní škraloup na povrchu půdy (Fryrear et al., 2000).

## **3.5. Vodní eroze**

Stejně jako větrná eroze, také i vodní eroze se projevuje odnosem půdních částic z povrchu. Erozivním činitelem tu však není vítr, ale voda, a to ve formě deště, povrchového odtoku, tání sněhu a také voda určená k zavlažování. Voda odnáší organickou hmotu obsaženou v půdě i minerální půdní částice z povrchu půdy a následně dochází k jejich ukládání na níže položených místech, ať už opět na povrchu půdy nebo ve vodních tělesech, kde tento materiál pak zanáší řeky, jezera, ale i uměle vytvořené nádrže (Blanco et Lal, 2008).

K vodní erozi dochází na všech půdách, a tento proces může dosáhnout různých stupňů intenzity. Při nízké intenzitě dochází vlastně k přirozenému procesu tvorby půd, zatímco při vysoké intenzitě dochází k nepříznivému vlivu nejen na půdu, ale také na životní prostředí (Blanco et Lal, 2008).

### 3.5.1. Erozní proces

Proces vodní eroze úzce souvisí s pohybem a cestami vody po vegetačním pokryvu a povrchu pozemku. V průběhu srážkové události dopadá část vody přímo na povrch půdy. Voda, která dosáhne povrchu půdy, se může hromadit v malých otvorech a prohlubních na povrchu, nebo se může vsáknout do půdy (Morgan, 2005).

Množství vody, které se může vsáknout do půdy je dáno tzv. infiltrační kapacitou půdy. Voda je do půdy vsakována gravitačními a kapilárními silami. Pokud vstoupí do půdy, je zde zadržena jako tenká vrstvička okolo půdní částice (Morgan, 2005).

Dále se voda může pohybovat vertikálně do hlubších vrstev půdy. Zde můžeme hovořit o hypodermickém neboli podpovrchovém odtoku (Morgan, 2005). K tomu dochází tehdy, když do půdy infiltrovaná voda stéká po mělce uložené, málo propustné vrstvě a vyvěrá opět na povrch. Tím se liší od základního odtoku, na jehož tvorbě se podílí voda, která infiltrovaná až k hladině podzemní vody (Janeček a kol., 2002).

Chmelová a Šarapatka (2002) popisují vlastní proces eroze následovně. Eroze svrchní vrstvy půdy nastává, pokud dojde k oddělení jednotlivých půdních částic od větších hrud či jiných půdních agregátů. Tyto jsou odděleny energií dopadajících dešťových kapek. Ač by se mohlo zdát, že dopadající kapka nedisponuje takovou energií, pokud je kapek více, jejich síla, se kterou dopadají na povrch půdy je překvapivě velká. Především pokud se na povrchu nenacházejí rostlinné zbytky (či rostlinný mulč) nebo živá vegetace, která by pohltila tuto energii. Během intenzivní bouře může dojít k odnosu až 246 t půdy z hektaru.

Kapka, dopadající na tenkou vrstvičku vody, oddělí částice půdy snáze, než pokud by dopadala na suchou půdu. Snadnost, se kterou jsou částice oddělovány, narůstá se zvětšující se vodní vrstvou na povrchu, ovšem pouze do výše průměru kapky. Pokud se vrstva vody na povrchu půdy zvětší, dojde k potlačení tohoto efektu, neboť působí jako polštář (Chmelová a Šarapatka, 2002).

V průběhu srážkové události dochází ke dvěma skutečnostem. Množství srážky může překročit hodnotu, při které je půda ještě schopna absorbovat vodu. Přebývajíc vodu se poté začne hromadit na povrchu půdy, případně dojde k povrchovému odtoku. Zároveň na povrchu půdy působí síly dopadajících kapek, což má za následek částečné uzavření povrchu půdy, které ještě snižuje infiltraci, v důsledku čehož nastává další povrchový odtok (Chmelová a Šarapatka, 2002).

Morgan (2005) vysvětluje neschopnost půdy přijímat další vodu tím, že dojde k zaplnění prostoru mezi půdními částicemi vodou. To má za následek pokles kapilárních sil.



Tyto jsou na začátku srážkové události velké, avšak s přibývajícím množstvím vody klesají až na úroveň reprezentující maximální trvalé množství vody, při kterém může voda procházet do hlubších vrstev půdy.

Pokud by mohla být všechna srážková voda infiltrována do půdy, došlo by pouze k minimálnímu oddělování a rozstříku půdy, tudíž i množství odplavené zeminy by bylo nízké (Chmelová a Šarapatka, 2002).

Pokud je ovšem půda již vodou nasycena, nedochází k vsaku srážkové vody a nastává povrchový odtok. Nejprve jako plošný odtok v tenké vrstvě (Janeček a kol., 2002), který rychle přechází v odtok ve formě rýžkové nebo výmolové, v extrémních případech se jedná až o odtok velkými koryty, která tvoří strže (Morgan, 2005).

Ztráta půdy je v literatuře definována jako množství půdy, které je odneseno za určitý čas z určité oblasti. Obvykle je vyjádřena v jednotkách hmotnosti na plošnou jednotku, např. t/ha nebo  $\text{kg/m}^2$ . Intenzitu erozních procesů je možné uvádět za jednu srážkovou událost, jako průměrnou hodnotu za několik let či za jiný časový úsek (Chmelová a Šarapatka, 2002).

Množství sedimentu, které je odneseno z určité oblasti v definovaném časovém intervalu, se však vztahuje k množství sedimentu, který opustil určené hranice, například okraj pole nebo koryto řeky. Vyjádřen je v celkové hmotnosti (kg), hmotnosti na šířku pozemku či jiného objektu ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ ) nebo hmotnosti sedimentu z plošné jednotky ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) (Chmelová a Šarapatka, 2002).

### **3.5.2. Formy eroze**

Dělení eroze na jednotlivé formy je odlišné jak v české, tak i zahraniční literatuře.

V České republice je používána klasifikace, která rozeznává následující formy: plošná eroze, dále rýžková, brázdová, rýhová, výmolná a srážková eroze (Ministerstvo zemědělství ČR, [online]).

Mezi hlavní typy eroze popisované v zahraniční literatuře patří podle Blanco a Lal. (2008) eroze kapková (splash), rýžková (interrill), rýhová (rill), výmolová (gully) eroze, eroze břehová a tunelová. Chmelová a Šarapatka (2002), stejně jako někteří další autoři, uvádějí také plošnou (sheet) erozi. Protože převážná většina dostupné literatury je zahraniční, bude v dalším textu zachováno toto členění.

Kapková eroze bude podrobněji popsána v dalších kapitolách práce, proto bude nyní vynechána.

### 3.5.2.1. Rýžková eroze (Interrill erosion)

Na počátku erozního procesu se začnou v důsledku povrchového odtoku tvořit na povrchu půdy drobné rýžky. Ta část povrchového odtoku, která není soustředěna v rýžkách, se nazývá interrill nebo také sheet eroze. Tato srážková voda s sebou odnáší částice v tenké vrstvě, působí ale plošně. Jedná se o nejčastěji se vyskytující typ eroze. Spolu s kapkovou erozí stojí na počátku erozního procesu a zapříčiňují 70 % celkových ztrát půdy (Blanco et Lal, 2008).

Bryan (2000) dokonce uvádí, že interrill eroze vzniká jako důsledek kapkové eroze na rozdíl od rill, jejímž hlavním hybatelem je povrchový odtok.

### 3.5.2.2. Rýhová eroze (Rill erosion)

Rill eroze je děj, při němž je zemina odplavována v malých brázdách nebo rýžkách. Na rozdíl od interrill eroze není důsledkem voda mělce odtékající z povrchu, ale voda koncentrující se do malých rýžek (Blanco et Lal, 2008). Vznik těchto rýžek vysvětluje Janeček a kol. (2002). Uvádí, že plošný povrchový odtok má při proudění v tenké vrstvě převážně transportní účinek. Ten je v této fázi limitujícím faktorem, neboť se díky malé hloubce, ve které povrchový odtok probíhá, jeho kapacita rychle vyčerpá. Začne se tedy soustřeďovat do sítě rýh a rýžek, jejichž velikost se zvětšuje. Současně se také zvětšuje hloubka a rychlost, a tím také kinetická energie odtoku, což má za následek zvýšení erozního a transportního účinku.

Erozní účinek vody je rychlejší, než je tomu u interrill eroze. Rýžky mohou být snadno odstraněny při zpracování půdy. Avšak mohou zapříčinit, především při intenzivních srážkových událostech, velké ztráty půdy. Jde totiž o druhý nejběžnější typ eroze (Blanco et Lal, 2008).

### 3.5.2.3. Plošná eroze (Sheet erosion)

Sheet eroze je proces, při kterém dochází působením dopadajících kapek a povrchového odtoku k odnosu tenké uniformní vrstvy půdy. Podobně jako u předchozích typů eroze se může jednat o velmi „efektivní“ proces, neboť k němu může nepozorovaně docházet na rozsáhlých plochách po poměrně dlouhou dobu. Viditelným projevem je ukládání erodované zeminy u paty svahu či přítomnost světle zabarveného půdního podloží. Pokud je sheet eroze ponechána bez povšimnutí a nejsou učiněna protierozní opatření, může dojít k odplavení živin a organické hmoty, v důsledku čehož ztratí půda svou úrodnost (Chmelová a Šarapatka, 2002).

Rozdíl mezi interrill erozí a sheet erozí je v tom, že povrchový odtok při sheet erozi obvykle nemá dráhu delší než pár metrů, a proto nedojde ke vzniku rýžek jako u interrill eroze (Managing natural resources, [online]).

#### 3.5.2.4. Výmolová eroze (Gully erosion)

Jedná se o typ eroze, při kterém jsou tvořena koryta tvaru U nebo V, o minimální šířce 0,3 m a minimální hloubce 0,3 m. Tato hluboká koryta se tvoří především jako důsledek intenzivního povrchového odtoku soustředujícího se v níže položených částech pozemku. Zvlněné a nerovné pozemky způsobují, že se odtok při pohybu po pozemku soustřeďuje do přirozených sníženin. Pokud se tato situace opakuje, dochází k odstranění celých půdních profilů a vzniku strží. S jejich rostoucí velikostí také narůstá množství sedimentů, které jsou strže schopné transportovat (Blanco et Lal, 2008).

Morgan (2005) dále uvádí, že strže jsou charakteristické příkrými břehy a tvoří se zpočátku pouze jako přechodné kanály pro odtok. Na rozdíl od trvalých řečišť, která mají relativně hladké klenuté dno po celé své délce, pro erozní strže jsou charakteristické náhlé výškové přechody dna a změny směru. Ty se střídají s relativně pozvolna klesajícími úseky. Také jsou ve srovnání s říčními koryty obvykle hlubší a užší.

Blanco a Lal (2008) ve své knize rozlišují 2 typy koryt – trvalá a přechodná. Přechodná koryta (ephemeral gullies) jsou mělká a mohou být relativně snadno odstraněna běžně prováděnými způsoby zpracování půdy. Naproti tomu trvalá koryta (permanent gullies) jsou příliš velká, než aby mohla být odstraněna při zpracování půdy. Ba dokonce nemohou být kvůli svému rozsahu ani překonána obvyklou zemědělskou technikou. Jejich náprava pak vyžaduje speciálních, většinou finančně náročných opatření a trvalé kontroly. I pokud jsou přechodná koryta odstraněna, je v těchto místech stále tendence vzniku nových. Navíc půda, která byla odplavena, je obvykle již mimo pozemek, takže při snahách o zarovnění strží dochází k úbytkům ornice.

#### 3.5.2.5. Tunelová eroze

Jedná se o podpovrchovou formu eroze typickou pro aridní a semiaridní oblasti. Projevuje se především na půdách, kde je stabilní horizont A a nestabilní horizont B. Tunelová eroze vzniká jako důsledek odtoku následujícího po srážce. Ten se kanály, trhlinami v půdě a zvířecími norami dostává pod povrch. Zde dochází k odnosu půdních částic. Povrch půdy, pod nímž obvykle dochází k tunelové erozi, bývá zpevněn kořeny (např. trav). Pokud je část půdy pod povrchem erodována, dochází k propadům půdy (Blanco et Lal, 2008).

Verachtert a kol. (2011) uvádějí, že propadem těchto podzemních tunelů vznikají hluboké příkopy a strže.

### 3.6. Kapková eroze (Splash erosion)

Janeček a kol. (2002) popisuje kapkovou erozi jako proces, při kterém dešťové kapky dopadající na nechráněný půdní povrch rozrušují svou kinetickou energií půdní agregáty a uvolňují půdní částice. Je-li intenzita a úhrn deště větší než vsakovací schopnost půdy, dochází po zaplnění mikroakumulačních prostorů na povrchu půdy k povrchovému odtoku.

Kinnell (2005) ovšem upozorňuje, že ke kapkové erozi dochází pouze, pokud k povrchovému odtoku nedochází nebo je jen malý, neboť, jak již bylo uvedeno výše, vrstva vody tvořící povrchový odtok, by energii kapek pohlcovala (Chmelová a Šarapatka, 2002).

Při dopadu kapky na povrch půdy dochází k jejímu rozstříknutí v podobě drobných kapiček různých velikostí, se kterými jsou také rozstříknuty částičky zeminy (Brodowski, 2013). Větší půdní částice (50 – 2000  $\mu\text{m}$ ) jsou transportovány jako samostatná zrna, zatímco částice, jejichž rozměr je menší než 50  $\mu\text{m}$ , jsou transportována spolu s malými kapkami vzniklými rozpadem původní velké kapky (Leguédouis et al., 2005).

Při dopadu těchto kapek dochází k přenosu jejich kinetické energie na povrch půdy, jehož důsledkem je rozpad půdních agregátů. Jak působící energie dopadající kapky působící utužení povrchu (Morgan, 2005), tak i zemina, která, může být transportována až do vzdálenosti 2 - 3 mm pod povrchem, ucpávají půdní póry. Tím na povrchu půdy vzniká stále silnější vrstva půdních částic, která později formuje půdní škraloup, jehož hustota může být v závislosti na složení půdy až  $1,91 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (Roth, 1997). Při simulaci srážky pomocí zadešťovače bylo experimentálně zjištěno, že tato vrstva tvořená jílovitými částicemi je cca 0,1 mm silná. Pod ní se nachází 1 - 3 mm silná vrstva, ve které jsou větší póry zaplněny jemnějším materiálem, který do nich byl vplaven (Tacket et Pearson, 1965).

S rostoucí silou a pevností této krusty je tedy pro uvolnění půdních částic, a tudíž i další vodní eroze, nezbytné působení stále větší energie (Brodowski, 2009).

Kapková eroze, jako proces transportní, není příliš účinná. Pokud se nejedná o svažitý pozemek, rozstříknutá zemina je opět nahrazena materiálem transportovaným z okolí jinou kapkou. Pokud je pozemek svažitý, pak se materiál rozstříknutý ve směru sklonu svahu dostane dál v porovnání s materiálem rozstříknutým proti směru tohoto svahu. To nutně musí vyústit v odnos půdy ze svažitých pozemků. Tato erodibilita narůstá s narůstajícím sklonem pozemku. Stále je ale nutné mít na paměti, že kapková eroze jako transportní proces je značně

limitována, neboť pro uvolnění zeminy je třeba dopadajících kapek (Kinnell, 2005). Pouze 0,06 % z energie srážky přispívá ke kapkové erozi. Její hodnoty jsou nízké, pohybují se kolem  $0,082 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  za rok při sklonu svahu  $11^\circ$ . Za hlavní důsledek kapkové eroze proto můžeme označit především rozrušení a uvolnění půdních částic, které jsou dále transportovány povrchovým odtokem (Morgan, 2000; Kinnell, 1991).

### 3.6.1. Měření kapkové eroze

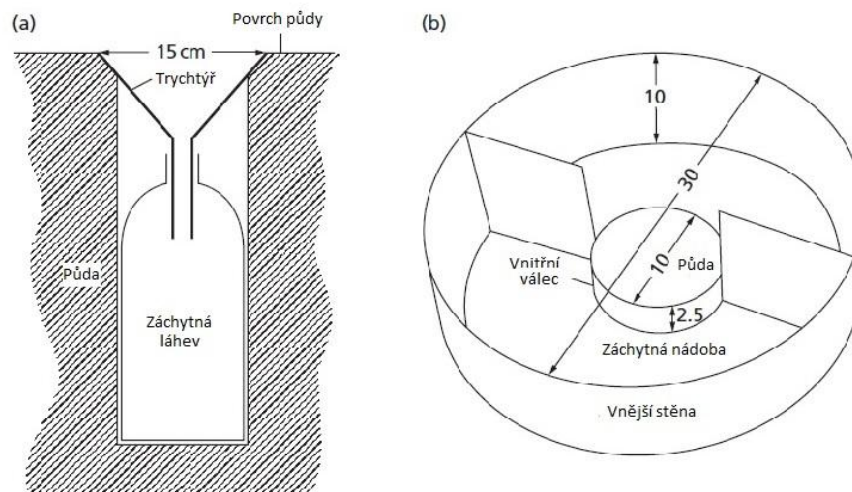
Při měření eroze je třeba zvolit správný rozsah měření. Stroodnijder (2005) doporučuje pro měření kapkové eroze v zemědělství bodové měření v okolí  $1 \text{ m}^2$  od tohoto bodu. V případě časového hlediska pak doporučuje měření po každé ukončené srážkové události či roční sledování pro účely ochranných protierozních opatření.

Značnou nevýhodou v procesu měření kapkové eroze v přírodních podmínkách jsou erozní činitelé, jejichž působení je předem neodhadnutelné jak z hlediska místa, tak i času. Jednou z možností, jak tuto nevýhodu odstranit, je použití umělých zadešťovačů (simulátorů deště), a to jak v polních, tak i laboratorních podmínkách. Avšak je nutné, abychom byli u zadešťovačů schopni regulovat a dodržet intenzitu srážky, velikost kapek a danou energii kapky při dopadu a potlačili prostorovou a časovou variabilitu umělé srážky (Lal, 1994).

Stroodnijder (2005) doporučuje několik metod, jak měřit průběh eroze, přičemž pro kapkovou erozi je vhodné měřit „změny hmotnosti zeminy“ na pokusné parcele. Několik konkrétních metod popisuje Morgan (1981). Jde o metodu nazývanou jako „splash boards“, která využívá principu záchytné desky, kde je zachycena rozstříknutá zemina, popsanou Ellisonem v roce 1944 či Kwaadem v roce 1977, dále o metodu záchytných trychtýřů umístěných v zemi (Bolline, 1975, obrázek 1a) a různé metody na principu trasování identifikovatelných částic, ať už magnetických (Ventura et al., 2001), obarvených částic půdy (Turkelboom et al., 1997) či prvků vzácných zemí (Zhang et al., 2003).

Jelikož však při erozním procesu dochází k působení více druhů eroze zároveň, je obtížné zachytit pouze tu část půdy, která je transportována erozí kapkovou. To je možné například při použití metody záchytných trychtýřů a metodou označovanou jako „splash cups“ (obr. 1b), jež jsou použitelné jak v laboratorních, tak i polních podmínkách (Morgan, 1981).

Záchytné trychtýře jsou vloženy do půdy tak, aby jejich přesah byl 1 – 2 mm nad terénem. To má napomoci eliminovat zachycení povrchového odtoku. Rozstříknutý materiál je při srážce trychtýřem zachycen a následně může být zvážen (Morgan, 2005).



Obrázek 1: Metody měření kapkové eroze – obr. a) záchytný trychtýř dle Bollinne (1975), obr. b) „field cup“ dle Morgan (1981), (rozměry v cm) (Morgan, 2005), upraveno

### 3.6.2. Erozivita - erozní účinnost dešťových srážek

Obecný mechanismus působení eroze, na jehož počátku stojí dopadající dešťové kapky, byl již popsán výše. V této kapitole bude popsána erozivita srážky. Ta vychází z kinetické energie srážky (Morgan, 2005) a je ovlivněna množstvím a intenzitou srážky, rychlostí dopadu kapek a jejich velikostí a také tím, jak je dopadající srážka rozložena v prostoru (Blanco et Lal., 2008).

Kinetická energie srážky  $E_{K,D}$  (J) je funkcí velikosti dopadající kapky a její rychlosti při dopadu. Což lze vyjádřit rovnicí (1), kde  $m_D$  (kg) je hmotnost dopadající kapky a  $v_D$  ( $m \cdot s^{-1}$ ) rychlost kapky při dopadu (van Dijk et al., 2002).

$$E_{K,D} = \frac{1}{2} m_D v_D^2 \quad (1)$$

Velikost kapek bývá obvykle od 0,25 do 8 mm v průměru, přičemž nejběžněji je to 2 – 5 mm. Pro srážky o vyšší intenzitě jsou pak charakteristické větší průměry kapek. Padající kapka stále zvyšuje svou rychlost, dokud nedojde k vyrovnání gravitační síly přitahující kapku a působení odporu vzduchu. Poté se rychlost kapky ustálí a je rovna rychlosti dopadu na půdu, což může být až  $35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , přičemž půda je po dopadu rozstříknuta až 2 m horizontálně a 1 m vertikálně. Protože je rychlost závislá na gravitační síle, dosahují

větší (a tedy těžší) kapky vyšších rychlostí, což s sebou nese i větší erozní sílu (Blanco et Lal, 2008; Sharma et al., 1991). Množství srážky je funkcí délky a intenzity srážky. Intenzita je pak definována jako množství srážky za určitý časový úsek [mm]. V mírných klimatických pásmech je za srážkovou událost o běžné intenzitě považováno  $< 70 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ . Některé erozní modely pak používají k výpočtu kinetické energie srážky právě intenzitu (Salles et al., 2002). Obecně lze říci, že čím intenzivnější je déšť, tím vyšší je hodnota kapkové eroze (Blanco et Lal, 2008). Nicméně Morgan (2005) upozorňuje, že eroze je obecně vázána na 2 typy srážkové události. Při krátkodobé intenzivní průtrži mračen dojde k překročení infiltrační kapacity, v důsledku čehož nastává eroze a na déletrvajících srážku nižší intenzity, při které je půda saturována postupně.

### **3.6.3. Struktura půdy**

Struktura půdy je jedním z faktorů ovlivňujících erodibilitu - náchylnost půdy k erozi. Půdní agregát je shluk částic půdy, které jsou k sobě přimknuty silněji ve srovnání s okolními půdními částicemi (Kremper et Rosenau, 1986, [online]). Při srážkové události je snížena infiltrační kapacita v důsledku ucpání půdních pórů. To vede k povrchovému odtoku a následné erozi půdy (Le Bissonnais et al., 1995). Odolnost půdy vůči působení srážky tedy závisí na schopnosti agregátů na povrchu půdy odolat rozrušující síle, kterou na agregáty působí dopadající kapky. Pokud je energie kapek vyšší než kohezní energie spojující půdní agregáty, dochází k jejich rozpadu (Blanco et Lal, 2008).

Pro rozrušení větších půdních agregátů je třeba vyšší kinetické energie kapky, než je tomu u menších agregátů. Ty jsou proto také méně náchylné k erozi a nemohou být, na rozdíl od menších, tak snadno odplaveny povrchovým odtokem (Blanco et Lal, 2008, Le Bissonnais et al., 1995).

Tvorba agregátů je zapříčiněna půdním organickým uhlíkem (SOC), půdní biotou, vazbami mezi ionty, jílovými minerály a uhličitany. Organická hmota v půdě působí jako pojivý element a tvoří jakési jádro, na které se váží půdní částice. Také půdní organizmy a jejich organické produkty přispívají v tvorbě půdní struktury a mají přímý vliv na obsah organické hmoty v půdě. Přítomnost a rozklad této organické hmoty jsou pak v přímém vztahu k množství půdních agregátů. Krystalické i amorfní oxidy a hydroxidy hrají také významnou roli při tvorbě agregátů, neboť tvoří pojivé můstky mezi minerálními a organominerálními půdními částicemi. Stejně tak i jílové částice, které pomáhají udržovat vazby mezi agregáty a ovlivňují přeměny organické hmoty v půdě. Jílové minerály ovšem

působí také rozpad půdních agregátů, neboť při bobtnání dochází ke zvětšování jejich objemu, a tím k rozrušení agregovaných částic (Bronick et Lal, 2005).

Plante a McGill (2002) uvádí zpracování půdy jako příčinu rozpadu půdních agregátů, neboť při něm dochází k utužování půdy a narušování rostlinných a živočišných společenstev přispívajících k agregování půdních částic. Naopak bezorebné systémy, kdy nedochází k narušování půdy a snižování obsahu organické hmoty, stabilitu půdních agregátů podporují (Castro Filho et al., 2002).

### **3.6.4. Vliv vegetace**

Při dopadu deště na pozemek s vegetačním krytem propadává část kapek mezi rostlinami přímo na povrch půdy. Další část srážky je zachycena vegetací. Určité množství této vody, která zůstává trvale zachycena na rostlinách, se odpaří v podobě intercepčního výparu zpět do atmosféry. Zbývající voda se na půdu dostává v podobě stoku po stonku (stemflow). Zde hraje výraznou roli svedení vody z listů k rostlině. Další část vody pak odkapává z listů na zem. Okap vody z listů je většinou spojen s tvorbou větších kapek a jejich následným soustředným dopadem na stejné místo. V místech dopadu odkapávající vody může docházet k výraznějšímu poškození půdy, než na místech s přímým dopadem kapek (Morgan, 2005).

Rostlinný pokryv půdy proto hraje významnou roli v procesu kapkové eroze. Listy rostlin působí jako pohlcovače energie srážky. Pokud je půda bez pokryvu, pak s narůstající kinetickou energií srážky roste i míra eroze půdy. Rostlinný pokryv je pak více účinný při srážkách s vyšší kinetickou energií než u srážek s energií nižší. Hlavní význam porostu, jak vyplývá z experimentů, je totiž v zachycení objemu vody dopadající ve srážce (Morgan, 1985). Ta je z části svedena rostlinami po stonku a z menší části zachycena na rostlině (Morgan et al., 1998). Minimalizuje se tak povrchový odtok, který by dále působil erozi (Morgan, 1985). Morgan et al. (1998) však ve své novější práci upozorňuje na významný vliv odkapu z listů, který není zanedbatelný. Odkapávající či stékající srážková voda z listů má schopnost tvořit na povrchu půdy drobné krátery, které mohou mít průměr až 20 mm. Tento negativní efekt je ještě umocněn, pokud se listy rostlin překrývají a voda stékající z nich se akumuluje a dopadá do jednoho odkapového místa (Gemerlová a kol., 2013).



Vegetace dále nepřímo působí na půdní vlastnosti, zejména na pórovitost a propustnost, včetně omezení možnosti zanášení porů jemnými půdními částicemi a mechanickým zpevněním půdy kořenovým systémem (Janeček a kol. 2012).

Vliv rostlinného pokryvu bude dále zmíněn v kapitole o eliminaci eroze technickými opatřeními.

### **3.6.5. Vliv mulče - živý a mrtvý mulč**

Pokryv půdy mulčem sehrává v protierozní ochraně podobnou úlohu v ochraně půdy jako zapojený porost plodin (rostlinný pokryv). V obou případech se jedná o vytvoření tzv. stínového garé, které příznivě ovlivňuje půdní vlastnosti. Mulč chrání půdu před destrukcí půdních agregátů vlivem dešťů (Hůla a kol., 2008).

Díky zvyšování obsahu organické hmoty v půdě se zvyšuje stabilita půdních agregátů, což ústí v menší náchylnost půdy k erozi. Přítomnost rostlinného pokryvu také snižuje utužení půdy, výpar půdní vody a tvorbu půdního škraloupu a v neposlední řadě také pomáhá udržení půdních markopórů. Díky zlepšení fyzikální struktury dochází také ke zvýšení půdní úrodnosti a k podpoře biologické aktivity uvnitř půdy (Blanco et Lal, 2008).

Původ mulče může být ze dvou základních zdrojů:

- mulč z posklizňových zbytků předplodiny
- mulč z nadzemní biomasy meziplodin

Při mulčování slámou a posklizňovými zbytky předplodiny je třeba zohledňovat druh plodiny. Kvalita a rychlost rozkladu posklizňových zbytků závisí na poměru uhlíku k dusíku. Čím je hmota posklizňových zbytků chudší na dusík, tím pomaleji se rozkládá. Pro zdárný průběh mikrobiálního rozkladu je vhodný poměr C : N 20 až 30 : 1. Dobře se rozkládají posklizňové zbytky luskovin s poměrem C : N 15 – 20 : 1 (Hůla a kol. 2008). Pokud je pšenice vyseta jako následná plodina, pak rostlinné zbytky leguminóz zvyšují příjem dusíku. Leguminózní rostlinné zbytky také zvyšují mineralizaci dusíku v půdě (Kumar a Goh, 2001). Hůla a kol. (2008) uvádí, že nejméně kvalitní a nejpomaleji se rozkládající jsou posklizňové zbytky obilnin (C : N je 50 – 80 : 1).

### **3.7. Eliminace eroze na orné půdě**

Ochranu půdy proti vodní erozi je možné zajistit aplikací protierozních opatření, která spočívají v ochraně půdy před účinky dopadajícího deště, zachycení povrchově odtékající vody na chráněném bloku, převedení co největší části povrchového odtoku na vsak

do půdního profilu, snížení rychlosti odtékající vody a z dlouhodobého hlediska i snížení erodovatelnosti půdy. Z hlediska finančního je doporučeno při návrhu protierozních opatření postupovat od finančně i realizačně nejjednodušších opatření organizačního a agrotechnického charakteru k opatřením technického charakteru (Ministerstvo zemědělství ČR, [online]).

### **3.7.1. Opatření technického charakteru**

Opatření technického charakteru jsou typicky většího rozsahu a používají se k doplnění opatření organizačních a agrotechnických. Jsou navrhovány tak, aby pomocí záchytných prvků došlo ke snížení délky svahu, jež má vliv na průběh eroze. Jedná se obvykle o průlehy, příkopy, hrázky, meze, nádrže či terasování (Ministerstvo zemědělství ČR, [online], Hůla a kol. 2008).

Budování teras je vhodné především na svažitéjších zemědělsky využívaných pozemcích, jimiž jsou např. vinice či olivové háje, případně na plochách lesů s větší svažitostí či na dále nevyužívaných pozemcích, kde je riziko eroze. V pokusu provedeném v Itálii bylo pomocí USLE vypočteno, že na pozemku s ornou půdou, kde se nacházely plně funkční terasy, byla roční ztráta půdy  $8,8 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , zatímco na pozemku bez teras byla hodnota vypočtena na  $65,7 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$  za rok. Práh přípustné roční ztráty byl definován jako  $11 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (Bazzoffi et Gardin, 2011).

### **3.7.2. Opatření organizačního charakteru**

K opatřením organizačního charakteru se řadí delimitace kultur, ochranné zatravnění a zalesnění, protierozní osevní postupy, pásové pěstování plodin a pozemkové úpravy, jimiž se mění velikost pozemků a jejich orientace včetně směru trasování polních cest (Janeček a kol. 2002).

Návrh vhodného umístění pěstovaných plodin spočívá především v preferenci pěstování erozně nebezpečných plodin na neohrožených nebo jen mírně erozně ohrožených pozemcích (Janeček a kol., 2002). Plodiny nedostatečně chránící půdu před erozí, především tedy širokořádkové, by měly být pěstovány na pozemcích se sklonem do  $8^\circ$ . Při sklonu mezi  $8^\circ$  a  $15^\circ$  je doporučeno střídání těchto plodin s vrstevnicovými pásy obilovin (Janeček a kol., 2002).

Metodika ochrany zemědělské půdy proti erozi (Janeček a kol., 2012) při návrzích osevních postupů dále doporučuje dodržování obecných protierozních zásad, což jsou včasné

termín výsevu plodin, výsev víceletých plodin do krycí plodiny, posun podmínky do období s nižším výskytem přívalových dešťů (na září), zařazování bezorebně setých meziplodin.

Tvar pozemku by měl být obdélník (či n-úhelník) situovaný delší stranou po vrstevnici. Délka této strany pozemku, kde dochází k odtoku, by pak neměla přesahovat maximální přípustnou délku (vypočtenou např. dle Universal Soil Loss Equation) (Blanco et Lal, 2008).

### **3.7.3. Agrotechnická opatření**

Tato opatření se používají ke zlepšení vsakovací schopnosti půdy nebo zvýšení její protierozní odolnosti a k vytvoření ochrany jejího povrchu především v období výskytu přívalových srážek, kdy zejména širokořádkové plodiny svým vzrůstem a zapojením nedostatečně kryjí půdu (Janeček a kol., 2002). V našich podmínkách se jedná o období nejčastějšího výskytu přívalových dešťů (červen – srpen), ale i období tání sněhu (Janeček a kol. 2012). To je v souladu s tvrzením Morgana (1985), který vidí jako rizikové právě letní období mezi dvěma hlavními plodinami, kdy není půda pokryta rostlinami. V tomto období se, stejně jako u nás, i v Británii objevují srážky s nejvyšší intenzitou a prudce narůstají hodnoty eroze.

Podle stupně ochrany povrchu půdy před vodní erozí dělí Janeček a kol. (2002) plodiny do 3 skupin:

- plodiny s vysokým protierozním účinkem po celou dobu vegetačního období – travní porosty, jetelotrávy a jeteloviny
- plodiny s dobrou protierozní ochranou půdy po větší část vegetačního období – obiloviny, meziplodiny, luskoviny
- plodiny s nedostatečnou protierozní ochranou půdy po převážnou část vegetačního období – kukuřice, brambory, cukrová řepa

Dalším důležitým agrotechnickým opatřením je vrstevnicové obdělávání. Podle Soil Science Society of America se jedná o provádění operací spojených se zpracováním půdy, setím či sázením po vrstevnicích. Tento způsob lze dále kombinovat s pěstováním plodin v páslech – tzv. pásovým hospodařením, které stojí na pomezí organizačních a agrotechnických opatření. Pásky plodin, jež jsou založeny a obdělávány po vrstevnicích, jsou voleny tak, aby se plodiny nedostatečně chránící půdu (např. kukuřice) střídaly s plodinami, které brání erozi (např. travnaté pásy). Dochází tak ke zkrácení délky svahu, na které probíhá povrchový odtok, omezení jeho rychlosti a množství. Je-li použito pásového hospodaření,

klesá míra eroze až o 40 % ve srovnání s hospodařením nezohledňujícím sklon svahu (Francis et al., 1986).

V neposlední řadě mezi agrotechnická opatření řadíme způsoby obdělávání půdy, jimž bude věnována následující kapitola.

### **3.8. Půdoochranné způsoby zpracování půdy**

Za půdoochrannou technologii zpracování půdy je v nejširším smyslu slova považováno zpracování, při kterém je po sklizni plodiny na povrchu půdy zachováno alespoň 30 % posklizňových zbytků (Morgan, 2005).

Důležitým požadavkem protierozní ochrany jsou způsoby zpracování půdy tak, aby co nejméně docházelo k porušování její drobtovité struktury, aby bylo podporováno vsakování vody do půdy, a tím se snižoval povrchový odtok, a tím také smyv, který působí. Dále je důležité omezit počet obdělávacích úkonů na nezbytně nutnou míru, neboť časté zásahy do půdy mění drobtovitou strukturu na nepříznivý prašný sloh, a to tím rychleji, čím chudší je půda na organické látky (Hůla a kol., 2008).

#### **3.8.1. Přímé setí do mulče z rostlinných zbytků (no-tillage)**

Jedná se o přístup ke zpracování půdy, při kterém není do půdy nijak zasahováno, pouze při procesu setí. Všechny zbytky rostlin z přecházejících let, včetně herbicidně umrtvených plevelů, se nacházejí na povrchu půdy (Blanco et Lal, 2008). Morgan (2005) udává pokrytí půdy rostlinnými zbytky při tomto způsobu zpracování mezi 50 a 100 %.

Při setí přesným secím strojem je pak půda včetně rostlinných zbytků proříznuta diskovou secí botkou a semeno je uloženo do této rýžky (Blanco et Lal, 2008).

Blanco a Lal (2008) považují no-till systém za vůbec nejvýznamnější půdoochrannou technologii, neboť v nejvyšší míře omezuje erozi. Dochází k tomu 2 způsoby – snížením erozivity deště a erodibility půdy. Díky pokrytí půdy mulčem z rostlin je pohlcována erozní energie srážky, a zároveň je také chráněn povrch půdy proti přímému dopadu kapek. Je proto výrazně omezen odnos i rozpad půdních částic. Další výhodou přítomnosti mulče je zvýšení hrubosti povrchu půdy, a tedy snížení povrchového odtoku, jako důsledek nárůstu infiltrace. Zároveň také rostlinné zbytky zachycují případné uvolněné půdní částice. Toto je také v souladu s experimentem Hussain et al. (1999), kdy byly pozorovány statisticky průkazné rozdíly ve ztrátách půdy. Konkrétní hodnoty jsou  $7,9 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$  za rok na variantě no-tillage a  $29,5 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$  za rok na variantě zpracované orbou.

Rostlinné zbytky na povrchu půdy mají také vliv na teplotu půdy. Ta je díky pokryvu méně náchylná ke změnám teploty v důsledku nižší evaporace, a tedy vyšší vlhkosti (Lal, 1975). Pomalejší záhřevnost a vysychání půdy pak mohou oddalovat termíny setí, zpomalovat vzcházení a růst rostlin, jak potvrdil Fortin (1993) v experimentu s kukuřicí. Rostliny na parcelách zpracovaných no-tillage systémem byly ve fázi 6. listu o 5 dní později ve srovnání s rostlinami kukuřice, kde bylo provedeno konvenční zpracování půdy.

### **3.8.2. Setí do mulče (mulch tillage)**

Jedná se o zpracování půdy, po kterém se na povrchu půdy nachází 30 % posklizňových zbytků. Zdrojem těchto rostlinných reziduí může být buď předplodina, jejíž sláma nebyla zapravena do půdy či meziplodiny zaseté po sklizni hlavní plodiny. Výsev do mulče zanechaného předplodinou je využíván především pro ozimé plodiny, kde není čas pro výsev a vzejití meziplodin. Druhou možností je, jak již bylo uvedeno, výsev do mulče meziplodin. Může se jednat o plodiny strniskové, jejichž biomasa je umrtvena mrazem či o ozimé, které jsou umrtvovány chemicky (Hůla a kol., 2008).

Oproti no-tillage systému je samozřejmě použití kypřičů, ať už diskových či radličkových. Výhodou v tomto případě je snazší potlačování plevelů, které jsou, stejně jako výdrol zapraveny při podmítce (Blanco et Lal., 2008).

### **3.8.3. Pásové zpracování půdy (strip-tillage)**

Jedná se o zpracování půdy spojující v sobě výhody konvenčního a no-tillage zpracování. Půda je nakypřena pouze v pásech, přičemž plochy mezi těmito pásy jsou ponechány nezpracované – pokryté mulčem (Vyn et Raimbult, 1993). Pásky jsou nakypřené do hloubky 0,15 – 0,2 m a 0,15 – 0,2 m široké (Licht et Al-Kaisi, 2005), přičemž plošný podíl těchto řádků, nakypřených ve směru vysévané plodiny, nepřekročí  $\frac{1}{4}$  povrchu pozemku (Brant a kol., 2011). Nedochozí tedy k odstranění rostlinného pokryvu v pásech, kde se nenalézá plodina. Té je, díky nepřítomnosti mulče, umožněno dřívější vzcházení, neboť půda se snáze prohřívá, osivo je přímém kontaktu s půdou a půda není utužena, díky čemuž může být rozvinut kořenový systém (Blanco et Lal, 2008).

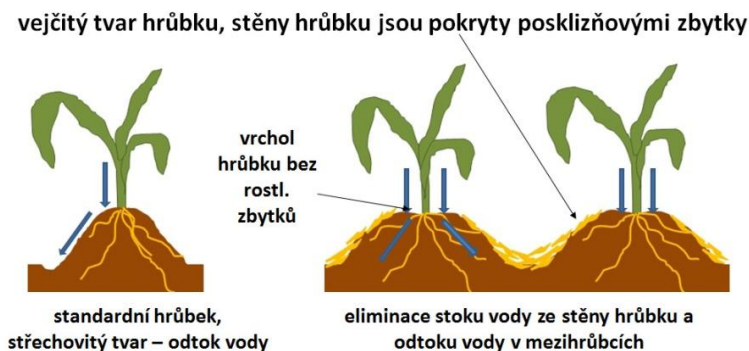
Že se jedná o účinné protierozní opatření, prokazují experimenty Boshe et al. (2005). Povrchový odtok byl v případě pásového zpracování půdy o 81 % nižší ve srovnání s konvenčním zpracováním.

### 3.8.4. Hrůbkové zpracování půdy (ridge-tillage)

Základem protierozní ochrany u hrůbkového zpracování půdy je vytvoření drsného povrchu. Hrůbky vytvořené ve směru vrstevnic zpomalují povrchový odtok, čímž snižují jeho energii (Hůla a kol. 2008). Pokud je překročena infiltrační kapacita půdy, prostor mezi hrůbkami, který je vyplněn posklizňovými zbytky, slouží jako zásobník, kde je srážková voda akumulována, což přináší více času pro její infiltraci (Unger et al., 1991).

Tvorba hrůbků probíhá pomocí hrůbkovacího stroje. Po sklizni plodiny jsou na pozemku vytvořeny hrůbky (obr. 2), jejichž tvar je vejčitý o výšce v rozmezí 80 - 130 mm (Brant et al. 2012; Grisso et al., 2000). Před setím je vrchní část hrůbků stržena a jsou z ní odstraněny zbytky rostlin. Během obnovování jsou pak rostlinné zbytky nahrnuty opět na stěny hrůbků. Při správném postupu by mělo být na jejich povrchu 30 – 50 % mulče (Blanco et Lal, 2008).

Jelikož jsou hrůbky tvořeny každoročně, může být za pomoci CTF systému redukováno utužení půdy. Další výhodou, zejména na jílovitých půdách v chladnějších oblastech, je vyšší teplota hrůbku ve srovnání s okolím (o 2 – 5 °C). Také použití herbicidů může být sníženo až o polovinu, neboť hrůbky umožňují snadnou mechanickou kultivaci.



Obrázek 2: Rozdíl mezi vejčitým a standardním hrůbkem (Brant et al. 2012)

### 3.9. Erozní procesy a jejich eliminace v kukuřici

Vzhledem k velké výměře orné půdy každoročně osévané kukuřicí je využití účinných agrotechnických protierozních opatření při pěstování této plodiny zvláště aktuální (Janeček a kol., 2012).

Morgan (2005) řadí širokořádkové plodiny, mezi něž patří i kukuřice, k plodinám s nejmenší schopností ochrany půdy a zároveň s největší náchylností k erozi. Důvodem je

velká meziřádková vzdálenost, a tudíž velké procento půdy, jejíž povrch není chráněn rostlinami, a to především v raných stádiích vývoje a dále pro nutnost přípravy set'ového lůžka.

Jak uvádějí Randal a Hill (2000), různá zpracování půdy zanechávají na povrchu jiné množství rostlinných zbytků, ať už z předplodiny či mulče. Hůla a kol.(2008) vidí zachování tohoto pokryvu povrchu půdy jako klíčové pro eliminaci erozních procesů.

Edwards et al. (2000) ve své práci poukazují na prokazatelný efekt mulče tvořeného slámou. Hodnoty kapkové eroze v tomto experimentu dosahovaly o 36 % nižších hodnot při 20% pokrytí půdy posklizňovými zbytky ve srovnání s pokrytím pouze pětiprocentním.

Tyto závěry o významu pokryvu povrchu potvrzují také van Dijk et al. (1996). Kapková eroze byla, v porovnání s konvenčním způsobem přípravy půdy a setí, nejvýrazněji redukována při přímém setí do umrtveného podsevu žita ozimého (cca o 70 %). Druhá největší redukce kapkové eroze byla pozorována na plochách, kde byla aplikována sláma (cca o 60 %), podobně, bylo-li ozimé žito zapraveno do půdy podmínkou (o cca 50 %). Nejnižší redukce (cca o 10 %) byla na plochách, kde byla půda na podzim zorána a následně došlo k přímému setí kukuřice bez dalších zásahů. Autoři tyto výsledky připisují pokryvu půdy rostlinnými zbytky. Sláma zajistila pokrytí ze 44,17 %, přímé setí do umrtveného žita 36,94 %, mulč žita 22,22 % a přímé setí 0,56 %. Autoři dále uvádějí také hodnoty plevelů tvořících pokryv půdy. Hodnoty jsou pouze jednotky či desetiny %, ale v případě konvenčního zpracování se jedná o jediný rostlinný pokryv meziřádku. Proto je třeba upozornit, že i hmotu umrtvených plevelů nelze úplně zanedbat.

Choudhary et al. (1997) ve svém experimentu dospěli k obdobným závěrům, tj. že způsob zpracování půdy statisticky průkazně ovlivňuje hodnoty kapkové eroze. Konkrétně bylo zjištěno, že při minimalizaci (radličkový kypřič) nabývaly hodnoty splash eroze pouze 42 % či 40 % při no-tillage, oproti orbě (100 %).

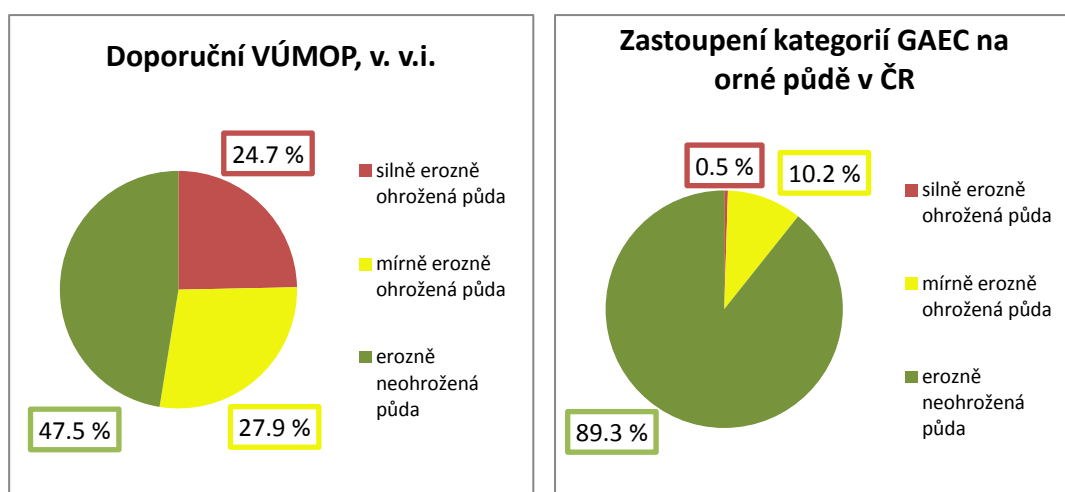
Jak už bylo zmíněno výše, stabilita půdních agregátů úzce souvisí s obsahem organické hmoty v půdě. Na parcelách, kde byl aplikován rostlinný mulč, byl jednoznačně prokázán vyšší výskyt stabilních agregátů oproti kontrole (Le Guillou et al., 2012). Výzkum provedený Angers et al. (1993) potvrdil, že půdoochranná zpracování (no tillage > půdoochranné zpracování > orebné zpracování) měla vliv na vyšší výskyt stabilních půdních agregátů v porovnání s orební technologií. Vysokou závislost mezi stabilitou půdních agregátů a obsahem organické hmoty ( $R^2 = 0.934$ ), která poukazuje na význam rostlinného pokryvu půdy, a tím na vývoj stability půdy, zjistili také Vasquéz-Mendéz et al. (2010).

Yang a Madden (1993) prokázali, že s vyšší intenzitou deště narůstá množství vody, které je dále po dopadu na půdu rozstříknuto v podobě menších kapek. Naopak dopad kapek je velmi silně tlumen, je-li půda pokryta mulčem, v důsledku čehož je výrazně omezen nežádoucí efekt, který působí dále rozstříknutá masa vody.

Autoři Choudhary et al. (1997) dále nepotvrdili, že mezi hodnotami kapkové eroze byly statisticky průkazné rozdíly v závislosti na délce srážky. Avšak Parlak a Özaslan Parlak (2010) pozorovali nárůst kapkové eroze s rostoucí energií srážky.

### 3.10. Eroze zemědělské půdy a legislativa České republiky

Eroze zemědělské půdy je v ČR, stejně jako v dalších evropských zemích, závažným problémem, jak je patrné z grafu 1. Pro eliminaci jejích dopadů jsou v ČR zavedeny standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (GAEC) zajišťující zemědělské hospodaření ve shodě s ochranou životního prostředí. Konkrétně se jedná o standardy GAEC 1 a GAEC 2 (Ministerstvo zemědělství ČR, [online]).



Graf 1: Erozní ohroženost půd ČR podle GAEC 2 a podle doporučení VÚMOP v. v. i. (Ministerstvo zemědělství ČR, [online])

#### 3.10.1. GAEC 1

Tento standard řeší problematiku ochrany půdy na svažitéch pozemcích, jejichž průměrná sklonitost přesahuje 7 °. Na takovýchto pozemcích s druhem kultury orná půda je



žadatel povinen po sklizni plodiny založit porost následné plodiny, případně zajistí alespoň jedno z následujících opatření:

1. strniště sklizené plodiny je ponecháno na pozemku minimálně do 30.11.
2. půda zůstane zorána, popř. podmítnuta za účelem zasakování vody min. do 30.11. (Ministerstvo zemědělství ČR, [online])

### **3.10.2. GAEC 2**

Na pozemcích, které jsou v LPIS označeny jako silně erozně ohrožené (SEO), vyplývá pro zemědělce a farmáře povinnost zajistit, že se na nich nebudou pěstovat širokořádkové plodiny: kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója a slunečnice. Porosty obilnin a řepky olejné na takto označené ploše budou zakládány s využitím půdoochranných technologií: bezorebné setí/sázení, setí/sázení do mulče, setí/sázení do mělké podmítky, setí/sázení do ochranné plodiny, podsev a důlkování. V případě pěstování obilnin nemusí být dodržena podmínka aplikace půdoochranných technologií při zakládání porostů pouze v případě, že budou pěstovány s podsevem jetelovin. Na pozemcích, které jsou v LPIS označeny jako mírně erozně ohrožené (MEO), vyplývá pro zemědělce a farmáře povinnost zajistit, že širokořádkové plodiny: kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója a slunečnice budou zakládány pouze s využitím půdoochranných technologií uvedených výše, nebo s využitím specifických půdoochranných technologií na MEO plochách (Ministerstvo zemědělství ČR, [online]).

## 4. MATERIÁL A METODY

### 4.1. Pokusná lokalita

Polní experimenty probíhaly na Výzkumné stanici Fakulty agrobiologie, potravinových přírodních zdrojů v Červeném Újezdě. Podíl průměrné sumy srážek ( $P$ , mm) a průměrné sumy potenciální evapotranspirace ( $P/E_o$ ) za normálové období pro danou lokalitu činí 0,8 – 0,9 (Pivec a kol., 2006). Hodnoty měsíčních normalů sum srážek a průměrných teplot pro danou lokalitu převzaté z meteorologické stanice Praha - Ruzyně dokumentuje tabulka 1. Lokalita Červený Újezd (geografické koordináty: 50°04'34.45" N, 14°09'22.351" E - WGS 84) se nachází v nadmořské výšce 398 m n. m. Půdní jednotkou je hnědozem modální. Z hlediska půdních charakteristik byla na pokusných plochách jílovito-hlinitá půda s průměrným zastoupením zrnitostních kategorií: < 0,01 mm 42,7 %, 0,01 – 0,05 mm 42,6 %, 0,05 – 0,25 mm 6,2 % a 0,25 – 2 mm 4,0 %.

	Měsíc											
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
$P$												
(1961-1990)	23.5	22.6	28.1	38.2	77.2	72.7	66.2	69.6	40	30.5	31.9	25.3
$t_{air}$												
(1961-1990)	-2.4	-0.9	3.0	7.7	12.7	15.9	17.5	17.0	13.3	8.3	2.9	-0.6

Tabulka 1: Průměrné měsíční sumy srážek ( $P$ , mm) a průměrné měsíční teploty vzduchu ( $t_{air}$ , °C) za normálové období 1961 – 1990 naměřené na meteorologické stanici Praha – Ruzyně

## 4.2. Schéma pokusu a pokusné varianty

Porosty kukuřice (šířka řádků 0,75 m) byly pěstovány pomocí pěti rozdílných systémů pracovní půdy (tab. 2). Velikost pokusné plochy činila 3 x 7 m. Každá varianta měla čtyři opakování. Uspořádání bloků bylo závislé na způsobu zpracování půdy a osevu. Zejména zpracování půdy omezovalo využití uspořádání parcel formou náhodných půdních bloků.

Označení Variant	Zpracování půdy na podzim	Výsev meziplodiny	Aplikace herbicidů před jarní kultivací	Kultivace půdy na jaře
<b>OP</b>	orba (0,2 m) + urovnání povrchu pozemku	bez meziplodiny	Roundup Klasik (dávka 4 l·ha <sup>-1</sup> )	kypření půdy v pruzích o šířce 0,3 m
<b>OJ</b>	orba (0,2 m) + urovnání povrchu pozemku	jílek vytrvalý do pásů širokých 0,35 m (30 kg·ha <sup>-1</sup> )	Roundup Klasik (dávka 4 l·ha <sup>-1</sup> )	kypření půdy v pruzích o šířce 0,3 m (meziřádky mezi pásy jílků vytrvalého)
<b>OK (kontrola)</b>	orba (0,2 m) ponechaná v hrubé brázdě – kontrolní varianta	bez meziplodiny	bez aplikace	urovnání povrchu pozemku a předseťová příprava
<b>MK</b>	mělké kypření (0,12 m)	bez meziplodiny	Roundup Klasik (dávka 4 l·ha <sup>-1</sup> )	kypření půdy v pruzích o šířce 0,3 m
<b>OH</b>	orba (0,2 m) + urovnání povrchu pozemku, vytvoření hrůbků	bez meziplodiny	Roundup Klasik (dávka 4 l·ha <sup>-1</sup> )	výsev do vrcholu hrůbku

Tabulka 2: Specifikace agrotechnických operací na pokusných variantách v letech 2010 - 2012

### 4.3. Agrotechnika porostů

#### 4.3.1. Hospodářský rok 2009 – 2010

V rámci variant bylo uplatněno zpracování půdy orbou a bezorebné zpracování půdy. Na podzim 14.9.2009 bylo na pokusných plochách (varianty OP, OJ, OK a OH) provedeno plošné zpracování půdy představované orbou (hloubka 0,2 m) a na variantě MK mělkým kypřením (hloubka 0,12 m) pomocí radličkového kypřiče. Dne 15.9.2009 bylo provedeno urovnání povrchu pozemku a na variantě OJ také výsev jílku vytrvalého do pásů o šířce 0,35 m. Hrůbky o rozteči 0,75 m na variantě OH byly vytvořeny pomocí hrůbkovače (30.9.2009), (obr. 3). Předplodinou byla ozimá pšenice.



Obrázek 3: Tvorba hrůbků s roztečí 0,75 m (vlevo), (foto Brant)  
Kypření řádků o šířce 0,3 m pro výsev kukuřice (vpravo), (foto Brant)

Dne 25.4.2010 byla na variantách provedena plošná aplikace herbicidu Roundup Klasik (obr. 4). Kypření řádků o šířce 0,3 m provedené plečkou s roztečí sekcí 0,75 m proběhlo 13.5.2010 na variantách OP, OJ a MK (obr. 3). Na variantě OJ bylo kypření provedeno v neosetém pruhu mezi pásy jílku vytrvalého. Rostliny jílku vytrvalého byly již v tomto termínu odumřelé v důsledku aplikace neselektivního herbicidu. Ve shodném termínu proběhlo rovněž urovnání povrchu půdy a předseťová příprava na variantě OK a na všech variantách byl proveden výsev kukuřice (rozteč řádků 0,75 m, hybrid Celio 250, 90 000 rostlin na ha). Základní hnojení porostů proběhlo 13.5.2010 (150 kg síranu amonného na ha a 100 kg UREA 46 na ha). V důsledku rozvoje zaplevelení byla 16.6.2010 provedena na všech variantách aplikace přípravků Mustang ( $0,6 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) + Lontrel 300 ( $0,3 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Zejména v důsledku rozvoje pýru plazivého byla na všech plochách provedena dne 25.6.2010 aplikace přípravků Titus 25 WG ( $50 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) + Istroekol ( $1,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ , adjuvant). Sklizeň kukuřice proběhla 23.9.2010.

### 4.3.2. Hospodářský rok 2010 – 2011

Základní zpracování půdy na všech variantách bylo totožné jako v předchozím roce (2009 až 2010). Základní zpracování půdy bylo provedeno 12.10.2010. Na variantách (OP, OJ, MK, OH proběhlo dne 13.10.2010 urovnání povrchu pozemku a na variantě OJ také výsev jílku vytrvalého do pásů. Hrůbky o rozteči 0,75 m byly vytvořeny pomocí hrůbkovače (15.10.2010). Předplodinou byl jarní ječmen.

Dne 11.4.2011 byla na variantách OP, OJ, MK a OH provedena plošná aplikace herbicidu Roundup Klasik. Kypření řádků o šířce 0,3 m proběhlo 27.4.2011 na variantách OP, OJ a MK. Na variantě OJ bylo kypření provedeno v neosetém pruhu mezi pásy jílku vytrvalého. Rostliny jílku vytrvalého byly již v tomto termínu odumřelé v důsledku aplikace neselektivního herbicidu. Pásové kypření bylo provedeno shodným způsobem jako v předchozím roce. Ve shodném termínu proběhlo rovněž urovnání povrchu půdy a předseťová příprava na variantě OK. Dne 28.4.2011 byl na všech variantách proveden výsev kukuřice (rozteč řádků 0,75 m, hybrid P8488, 85 000 rostlin na ha). Hnojení porostů proběhlo 25.4.2011 (100 kg močoviny na ha + 220 kg LAD na ha) a 18.5.2011 (150 kg ledku amonného s dolomitem na ha. Regulace zaplevelení byla provedena 25.5.2011 přípravkem Galera ( $0,4 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) a 6.6.2012 herbicidem Titus 25 WG ( $60 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Sklizeň kukuřice proběhla 22.9.2011.



Obrázek 4: Pásky jílku vytrvalého na jaře před aplikací přípravku Roundup (foto Brant)

### **4.3.3. Hospodářský rok 2011 – 2012**

Na podzim 2011 bylo provedeno základní zpracování půdy (orba a podmítka, 6.9.2012) . U variant OP, OJ, OK a OH se jednalo o orbu (hloubka 0,2 m) a u varianty MK o mělké kypření (0,12 m). Urovnání povrchu pozemku bylo provedeno pomocí kompaktoru na variantách OP, OJ a MK dne 8.9.2012. Na variantě OJ byl dne 8.9.2012 vyset jílek vytrvalý do pásů o šířce 0,35 m (výsevek 30 kg·ha<sup>-1</sup>). Jarní aplikace přípravku Roundup Klasik proběhla 28.3.2012. Urovnání povrchu pozemku na variantě OK bylo provedeno 27.4.2012 a kypření pásů o na variantách OP, OJ a MK o šířce 0,3 m bylo provedeno rovněž 27.4.2012. V tomto termínu byl také proveden výsev kukuřice seté (hybrid P8488).

Dne 23.5.2012 byl aplikován herbicid Epilog 75 WG (50 g·ha<sup>-1</sup>) + Trend 0,1 % (smáčedlo). Porosty byly hnojeny ledkem amonným s dolomitem v dávce 300 kg·ha<sup>-1</sup> (2.5.2012) a 23.5.2012 dávkou 200 kg·ha<sup>-1</sup>. Sklizeň proběhla dne 5.9.2012.

## **4.4. Hodnocené charakteristiky**

### **4.4.1. Kapková eroze (splash)**

Instalace záchytných trychtýřů pro měření kapkové eroze pomocí modifikované metody dle Bollinne (1975) byla provedena v počtu jednoho kusu na každé opakování v rámci varianty.

Jako záchytné trychtýře byly použity chemické násypky o vnějším průměru trychtýře 125 mm s výpustí o vnitřním průměru 25 mm. Jako záchytné nádoby byly použity plastové láhve s uzávěrem (objem 0,5 l). Do kruhového otvoru uzávěru láhve byla vlepena násypka. Mezi láhev a její uzávěr byla umístěna plastová síť s obdélníkovými oky 1 x 1,5 mm, která vytvořila sítko. Láhev s násypkou byla umístěna do plastové trubky (vnější průměr 125 mm, výška 260 mm) zapuštěné do půdy tak, aby i s hranou násypky vyčnívala 6 mm nad povrch půdy. Přesah nad povrchem půdy eliminoval případný vtok vody nacházející se na povrchu půdy (schéma instalace dokumentují obr. 5 a 6). Sítko mezi násypkou a láhví zamezovalo padání hmyzu a drobných savců do láhve. Při odběru, následujícím po srážkové události, jejíž suma překročila hodnotu 0,4 mm, byly stěny násypky a sítko opláchnuty vodou a proběhla výměna láhve. Zachycená suspenze v láhvi byla přefiltrována přes filtrační papír (KA1/185) a filtr byl vysušen při 95 °C (sušení 5 h) a po odečtení hmotnosti filtru byla stanovena hmotnost půdy zachycené v láhvi.

Data odběrů kapkové eroze jsou uvedena v tabulce 3. V období 2.6. – 9.6. 2010 neprobíhalo měření na variantě OJ a OH.

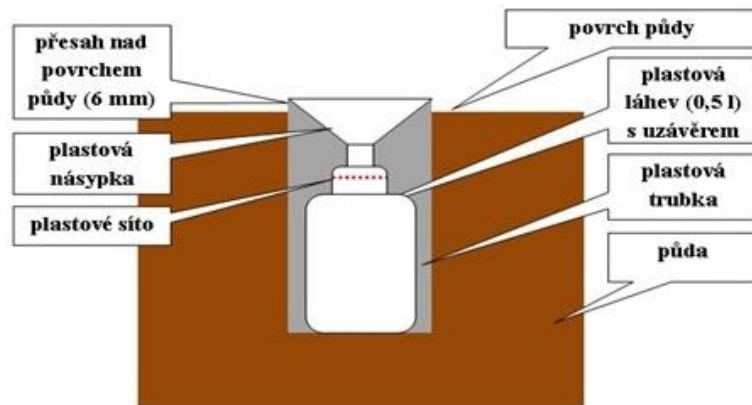
číslo odběru	2010	2011	2012
1	2.6. – 3.6.	18.5. – 24.5.	4.5. – 7.5.
2	3.6. – 9.6.	24.5. – 7.6.	11.5. – 15.5.
3	9.6. – 11.6.	7.6. – 9.6.	23.5. – 12.6.
4	11.6. – 15.6.	9.6. – 13.6.	12.6. – 13.6.
5	15.6. – 18.6.	13.6. – 17.6.	13.6. – 19.6.
6	18.6. – 28.6.	17.6. – 20.6.	19.6. – 21.6.
7	28.6. – 8.7.	20.6. – 22.6.	21.6. – 3.7.
8	19.7. – 23.7.	22.6. – 23.6.	3.7. – 5.7.
9	23.7. – 5.8.	23.6. – 4.7.	5.7. – 10.7.
10	5.8. – 10.8.	4.7. – 7.7.	10.7. – 18.7.
11	10.8. – 16.8.	7.7. – 11.7.	18.7. – 23.7.
12	16.8. – 26.8.	11.7. – 14.7.	23.7. – 13.8.
13	26.8. – 13.9.	14.7. – 18.7.	
14		18.7. – 20.7.	
15		20.7. – 25.7.	
16		25.7. – 1.8.	
17		1.8. – 10.8.	
18		10.8. – 16.8.	

Tabulka 3: Počty a data odběrů zachycené zeminy v letech 2010, 2011 a 2012

Stanovení kapkové eroze na jednotku plochy bylo provedeno dle algoritmu (2) - Poesen a Torri (1988):

$$MSR = MS \cdot e^{0,054 \cdot D} \quad (2)$$

*MSR* představuje množství rozstříknuté zeminy na jednotku plochy ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ), *MS* zachycené množství rozstříknuté půdy na plochu trychtýře ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) a *D* je průměr záchytného trychtýře (cm). Použitý algoritmus byl pro stanovení *MSR* použit pouze u variant OP, OJ, OK a MK. Hodnota *MSR* nebyla z důvodu členitosti povrchu hrůbkového zpracování půdy počítána u varianty OH. Srovnání varianty OH bylo tedy vztaženo pouze ke kontrolní variantě OK a provedeno pouze na základě stanovení *MS*.



Obrázek 5: Schéma umístění záchytného trychtýře (Gemerlová a kol., 2012)



Obrázek 6: Instalace záchytných trychtýřů pro měření kapkové eroze (foto Brant)

#### 4.4.2. Pokryvnost půdy vegetací a rostlinnými zbytky

Analýza pokryvu půdy byla provedena na základě analýzy obrazu. Snímky byly pořízeny fotoaparátem s infračerveným filtrem. Pro analýzu byla použita plocha o velikosti 0,25 m<sup>2</sup>. Tuto plochu tvořil rám položený na povrch půdy před pořízením snímku. Z každého opakování (A – D) v rámci variant OP, OK, MK a OH byla provedena analýza jednoho snímku. Na variantě OJ byla hodnocena zvlášť pokryvnost pásu s výsevem jílku vytrvalého a samostatně pásu určeného k výsevu kukuřice. Po oříznutí snímku dle hranice rámečku položeného při fotografování na povrchu půdy následovalo převedení infračervených snímků do černobílé fotografie (rostlinné zbytky a rostliny mají bílou barvu). Poté bylo na základě počtu pixelů bílé barvy z celkového počtu pixelů na fotografii stanoveno procento pokryvnosti. Úprava a analýza snímků byla provedena v programu Adobe<sup>®</sup> Photoshop<sup>®</sup>.

Data hodnocení pokryvnosti v letech 2010 - 2012 jsou uvedena v tabulce 4.



Rok	Pokryvnost půdy vegetací a rostlinnými zbytky		Stabilita půdních agregátů	
	Datum hodnocení	Datum hodnocení	Datum hodnocení	Datum hodnocení
2010	19.4.	2.7.	9.6.	21.9.
2011	29.3.	22.8.	29.3.	18.8.
2012	28.3.	21.8.	28.3.	21.8.

Tabulka 4: Data hodnocení pokryvnosti půdy vegetací a rostlinnými zbytky a data hodnocení stability půdních agregátů

#### 4.4.3. Stabilita půdních agregátů

Stabilita půdních agregátů (*SAS*, podíl stabilních agregátů) byla stanovena pomocí přístroje Wet Sieving Apparatus (Ejkelkamp, NL) dle metodiky výrobce. Pro rozrušení stabilních agregátů bylo použito hexametafosforečnanu sodného (2 g látky na 1 l vody). Pro analýzu byla využita frakce půdy o velikosti 1 – 2 mm. Odběr vzorků a jejich zpracování bylo provedeno v souladu s normou DIN 19683.

#### 4.4.4. Úhrn srážek, intenzita srážky

Hodnoty srážek byly převzaty z meteorologické stanice Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, která se nachází v Červeném Újezdě. (<http://www.emsbrno.cz/p.axd/cs/Lokality.CZUFAPPZ.html>).

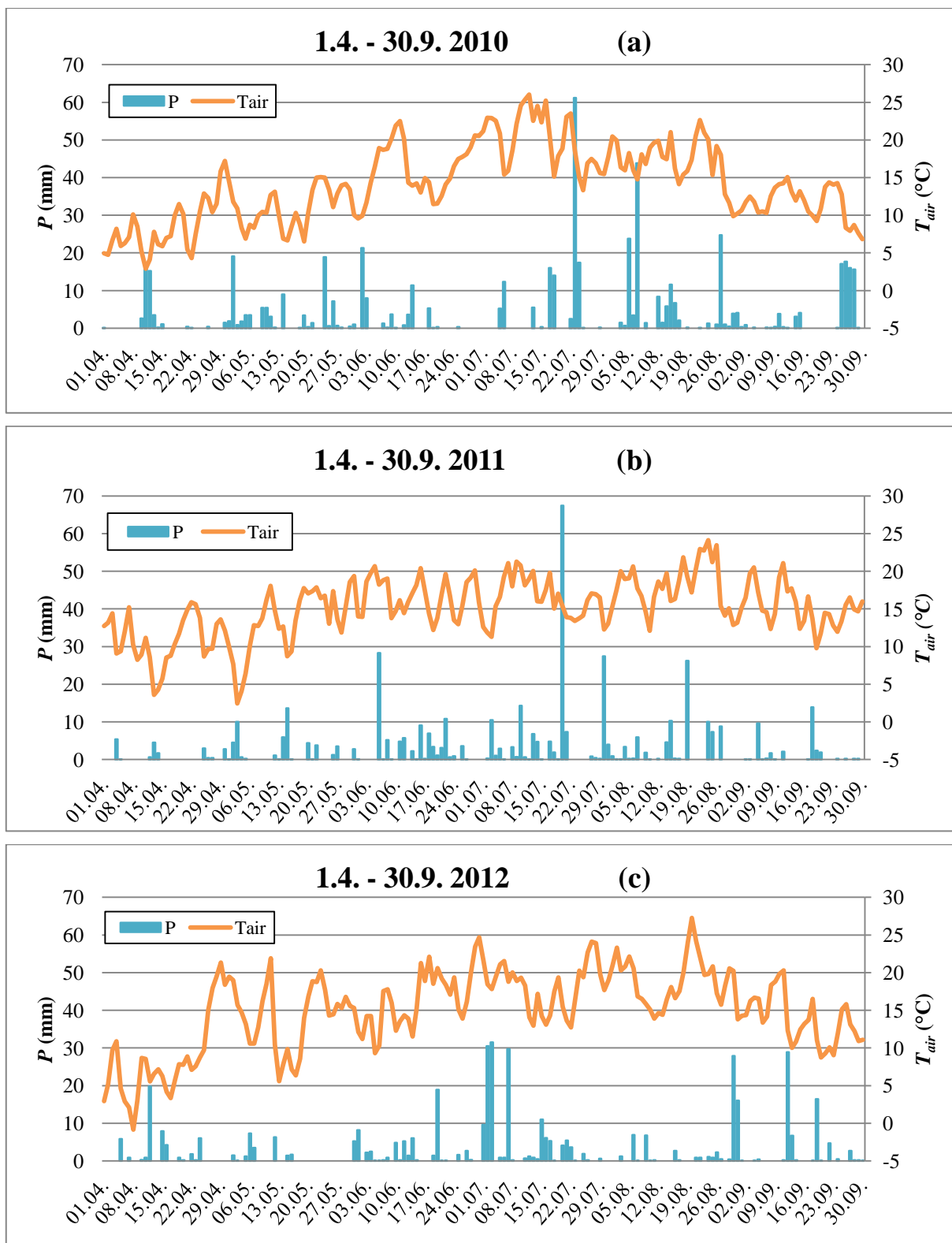
Byly vypočteny sumy  $P_{obd}$  (mm) za období, která jsou od sebe oddělena jednotlivými odběry kapkové eroze. Dále byly vypočteny intenzity jednotlivých srážkových událostí v těchto obdobích  $IP_{obd}$  (mm za 10 min).

Průběh srážek a denních teplot v letech 2010, 2011 a 2012 je zaznamenán v grafu 2 (a, b, c).

#### 4.4.5. Statistické vyhodnocení

Statistické hodnocení bylo provedeno pomocí jednoduché analýzy rozptylu (ANOVA), metodou dle Tukey na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  a jednoduché regresní analýzy. Využito bylo statistického programu Statgraphics® Plus, verze 4.1. Pro vyhodnocení závislosti *MSR* na  $P_{obd}$ ,  $IP_{obd}$  a použité technologii byla použita redundanční analýza (RDA)

v programu CANOCO (verze 4.5), (ter Braak and Šmilauer, 2002). Statistické testování bylo provedeno pomocí Monte Carlo permutačních testů (499 permutací). Vizualizace hodnocených závislostí byla znázorněna v ordinačním diagramu vytvořeném v programu CanoDraw for Windows, který je součástí programu CANOCO.



Graf 2: Průměrná denní teplota vzduchu  $T_{air}$  (°C) a denní sumy srážek  $P$  (mm) v termínu od 1.4. 2010 do 30.9.2010 (a), od 1.4. 2011 do 30.9.2011 (b) a od 1.4. 2012 do 30.9.2012 (c)

## 5. VÝSLEDKY

### 5.1. Kapková eroze

#### 5.1.1. Rok 2010

##### 5.1.1.1. Hodnoty *MSR* na variantách bez hrůbků

Hodnoty kapkové eroze (*MSR*,  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) naměřené na porovnávaných variantách OP až MK a srážky za hodnocená období v roce 2010 dokumentuje tabulka 5.

Od počátku měření (9.6. 2010) kapkové eroze do 18.6. 2010 byly mezi hodnotami *MSR* zjištěnými na jednotlivých variantách signifikantní rozdíly. Statisticky průkazné rozdíly byly potvrzeny na počátku vegetace mezi OJ a MK. Varianta MK vykazovala v porovnání s OJ nižší hodnoty *MSR* až do 8.7. 2010. Ve druhé polovině vegetace (od odběru 28.6. 2010) až do konce měření roku 2010 je pak možné pozorovat trend, kdy hodnoty *MSR* na variantách MK a OJ byly průkazně nižší v porovnání s hodnotami na OP a OK.

Nejvyšších hodnot *MSR* za rok 2010 dosáhla v průměru kontrolní varianta OK (100 %). Druhé nejvyšší průměrné procento naměřených hodnot vykazuje varianta OP (75,5 % hodnot varianty OK). Varianta s jíllem vytrvalým pak dosáhla v průměru jednotlivých měření o 55,9 % nižších hodnot oproti kontrole. Nejnižší suma hodnot byla dosažena na MK (v průměru 29,9% z hodnot varianty OK).

##### 5.1.1.2. Hodnoty *MS* na variantě s hrůbků

Hodnoty kapkové eroze (*MS*,  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) naměřené na variantě OH v porovnání s hodnotami varianty OK a srážky za hodnocená období v roce 2010 dokumentuje tabulka 6.

Po celý průběh měření v roce 2010 dosahovalo *MSR* na variantě OH vyšších hodnot. Od počátku měření až do 23.7. 2011 byly tyto hodnoty statisticky průkazné. Po tomto datu, v poslední části vegetace, již nebyly statisticky průkazné rozdíly zaznamenávány. V průběhu všech měření roku 2010 vykazovaly hodnoty varianty OH v průměru o 115,1 % více v porovnání s hodnotami kontrolní varianty.

Celkovou sumu *MS* z měření roku 2010 na variantách OP až OH zachycuje graf 3.

## 5.1.2. Rok 2011

### 5.1.2.1. Hodnoty *MSR* na variantách bez hrůbků

Hodnoty kapkové eroze (*MSR*,  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) naměřené na porovnávaných variantách OP až MK a srážky za hodnocená období v roce 2011 dokumentuje tabulka 5.

Na začátku roku 2011 bylo během prvních dvou měření v porovnání s dalšími částmi roku zachyceno vyšší množství zeminy. Statisticky významné rozdíly se, v porovnání s měřeními předchozího roku, téměř neprojeví. Období, kdy bylo na variantě OJ zachyceno méně zeminy, nastalo v tomto roce již 7.6., což je dříve než v roce 2010. Na variantě MK byly při dalších měřeních ve druhé části vegetace zjištěny vyšší hodnoty *MSR* porovnání s hodnotami na variantách OJ a OK.

Nejvyšší průměrné hodnoty *MSR* za rok 2011 byly zaznamenány na variantě OP (o 38 % více oproti kontrolní variantě), za ní následovala varianta OK. Průměrných nižších hodnot než kontrolní varianta dosáhly varianty MK (95,1 % hodnot varianty OK) a OJ (62,8 % OK).

### 5.1.2.2. Hodnoty *MS* na variantě s hrůbků

Hodnoty kapkové eroze (*MS*,  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) naměřené na variantě OH v porovnání s hodnotami varianty OK a srážky za hodnocená období v roce 2011 dokumentuje tabulka 6.

Při porovnání hodnot *MS* oproti hodnotám OK v tomto roce byly opět zaznamenány vyšší hodnoty na variantě OH. Statisticky neprůkazné rozdíly se projeví ve druhé části vegetace.

Na variantě s hrůbků bylo zachyceno průměrně o 229,1 % více zeminy oproti kontrolní variantě.

Celkovou sumu *MS* z měření roku 2011 na variantách OP až OH zachycuje graf 3.

## 5.1.3. Rok 2012

### 5.1.3.1. Hodnoty *MSR* na variantách bez hrůbků

Hodnoty kapkové eroze (*MSR*,  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) naměřené na porovnávaných variantách OP až MK a srážky za hodnocená období v roce 2012 dokumentuje tabulka 5.

Po větší část měřeného období nebyly mezi průměrnými hodnotami *MSR* na variantách OK a OP stanoveny průkazné rozdíly. Vyšší hodnoty kapkové eroze na variantě

OK ve srovnání s variantou OP byly stanoveny po 3.7.2012. Dne 3.7.2012 byly porosty poškozeny krupobitím. V souboru všech variant nebyly zjištěny po celou dobu měření signifikantní rozdíly mezi hodnotami variant OJ a MK, přičemž na MK byly po toto období hodnoty *MSR* vyšší než na OJ.

Na variantě OP byly v roce 2011 průměrně o 42,1 % vyšší hodnoty kapkové eroze v porovnání s kontrolní variantou (100 %). Varianta s jíllem vytrvalým dosáhla průměrně 85,4 % hodnot OK a varianta MK 64,4 % hodnot OK.

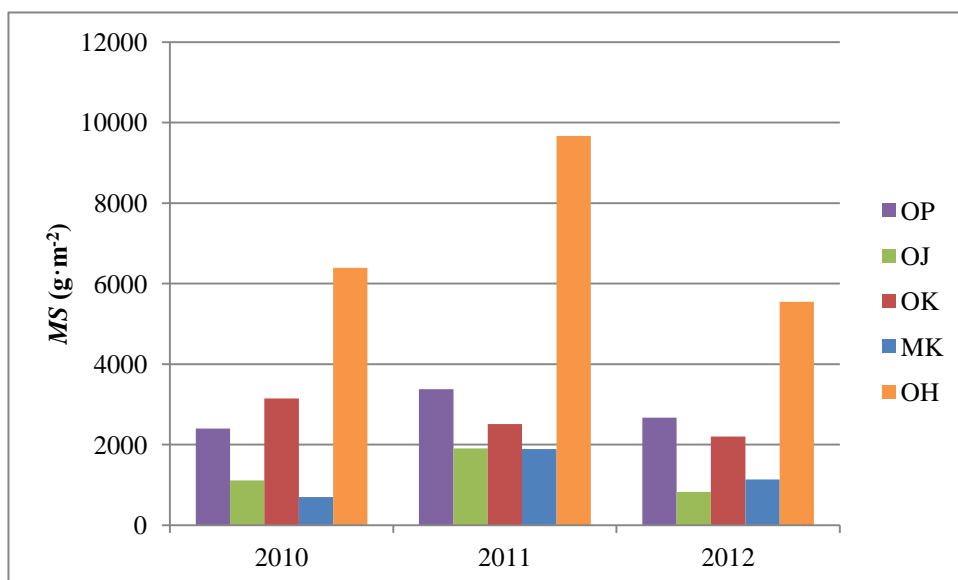
### 5.1.3.2. Hodnoty *MS* na variantě s hrůbky

Hodnoty kapkové eroze (*MS*,  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) naměřené na variantě OH v porovnání s hodnotami varianty OK a srážky za hodnocená období v roce 2012 dokumentuje tabulka 6.

V roce 2012, stejně jako v předchozích letech, byly zjištěny vyšší hodnoty *MS* v porovnání s kontrolní variantou na variantě OH. Mezi těmito variantami nebyly statistické rozdíly ve druhé ani třetí části vegetace.

Varianta OH dosáhla průměrně o 345,1 % vyšších hodnot *MS* oproti variantě kontrolní (100 %).

Celkovou sumu *MS* z měření roku 2012 na variantách OP až OH zachycuje graf 3.



Graf 3: Srovnání variant OP až OH za jednotlivá období měření (9.6. – 13.9. 2010, 18.5. – 16.8. 2011, 4.5. – 13.8. 2012) na základě součtu celkových hodnot *MS* ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )

rok/ varianta/ $P_{obd}$ / $IP_{obd}$	období/ $MSR$ (g/m <sup>2</sup> )																	
<b>2010</b>	<b>2.6.- 3.6.</b>	<b>3.6.- 9.6.</b>	<b>9.6.- 11.6.</b>	<b>11.6.- 15.6.</b>	<b>15.6.- 18.6.</b>	<b>18.6.- 28.6.</b>	<b>28.6.- 8.7.</b>	<b>19.7.- 23.7.</b>	<b>23.7.- 5.8.</b>	<b>5.8.- 10.8.</b>	<b>10.8.- 16.8.</b>	<b>16.8.- 26.8.</b>	<b>26.8.- 13.9.</b>					
<b>OP</b>	321.8b	7.1a	1008.5b	192.5c	86.5c	9.3a	2087.2b	161.9b	596.3ab	208.9bc	164.8a	55.1a	132.2b					
<b>OJ</b>	–	–	905.4b	121.5b	51.5b	21.0a	746.3a	27.2a	46.4a	79.1ab	69.1a	54.8a	60.1a					
<b>OK</b>	406.9c	9.9a	1371.4c	262.5d	123.1d	35.8a	2222.1b	192.4b	1298.5b	225.9a	255.8a	46.1a	150.5b					
<b>MK</b>	65.5a	6.6a	369.0a	15.0a	32.9a	2.4a	580.8a	43.3a	100.0a	47.9c	74.4a	42.3a	62.3a					
$P_{obd}$	26.4	1.6	3.8	15.8	4.9	1.1	17.5	27.6	79.8	48.6	34	3.7	41.5					
$IP_{obd}$	0.43	0.20	1.13	0.35	0.46	0.20	1.28	0.66	0.67	0.57	0.96	0.33	0.80					
<b>2011</b>	<b>18.5.- 24.5.</b>	<b>24.5.- 7.6.</b>	<b>7.6.- 9.6.</b>	<b>9.6.- 13.6.</b>	<b>13.6.- 17.6.</b>	<b>17.6.- 20.6.</b>	<b>20.6.- 22.6.</b>	<b>22.6.- 23.6.</b>	<b>23.6.- 4.7.</b>	<b>4.7.- 7.7.</b>	<b>7.7.- 11.7.</b>	<b>11.7.- 14.7.</b>	<b>14.7.- 18.7.</b>	<b>18.7.- 20.7.</b>	<b>20.7.- 25.7.</b>	<b>25.7.- 1.8.</b>	<b>1.8.- 10.8.</b>	<b>10.8.- 16.8.</b>
<b>OP</b>	1119.1b	3560.8b	77.6b	108.3b	327.0b	232.1a	29.8a	441.4b	41.6a	27.7a	75.5b	83.2a	16.9a	167.2b	206.9b	50.6a	22.1a	39.8a
<b>OJ</b>	888.6ab	2093.5a	26.2a	58.8a	154.0a	111.0a	20.3a	152.4a	21.8a	10.4a	14.8a	25.5a	9.4a	41.3a	41.3a	27.9a	21.4a	14.8a
<b>OK</b>	959.7b	2507.4a	25.8a	66.6a	185.4a	279.6a	15.2a	234.7a	36.6a	17.5a	64.5b	57.1a	20.4a	156.3b	181.3b	37.7a	42.6a	40.3a
<b>MK</b>	639.1a	1757.4a	43.2a	64.7a	224.3a	167.8a	30.5a	306.4ab	63.2a	12.8a	54.1ab	73.7a	8.3a	105.0ab	92.7ab	32.6a	21.8a	17.2a
$P_{obd}$	8.3	36.0	5.3	10.5	11.6	10.3	4.6	10.4	16.0	4.0	18.9	11.0	7.4	27.9	46.9	33.6	12.0	15.4
$IP_{obd}$	0.9	1.2	0.5	0.3	1.2	0.6	0.3	1.0	0.4	0.4	0.6	1.1	0.3	2.5	0.7	0.3	0.4	0.5
<b>2012</b>	<b>4.5.- 7.5.</b>	<b>11.5.- 15.5.</b>	<b>23.5.- 12.6.</b>	<b>12.6.- 13.6.</b>	<b>13.6.- 19.6.</b>	<b>19.6.- 21.6.</b>	<b>21.6.- 3.7.</b>	<b>3.7.- 5.7.</b>	<b>5.7.- 10.7.</b>	<b>10.7.- 18.7.</b>	<b>18.7.- 23.7.</b>	<b>23.7.- 13.8.</b>						
<b>OP</b>	62.9b	26.1a	94.5a	122.2b	25.2a	917.0b	2941.4a	248.3a	547.1bc	198.8bc	39.6a	11.4a						
<b>OJ</b>	37.8ab	16.1a	118.3a	59.6a	15.0a	330.3a	690.0a	114.4a	139.3a	54.8a	29.3a	8.6a						
<b>OK</b>	22.5a	30.1a	41.4a	107.0b	15.1a	777.0b	1970.2a	309.8a	598.0c	313.7c	74.9b	52.8b						
<b>MK</b>	42.6ab	17.7a	34.7a	84.4ab	15.1a	557.9ab	968.9a	140.1a	234.5ab	97.8ab	29.2a	5.0a						
$P_{obd}$	12	6.3	24.6	5.4	8.6	19	59	17.4	31.6	25.8	13.2	18						
$IP_{obd}$	1.1	0.4	0.4	0.7	0.4	0.9	1.6	0.6	2.3	0.7	0.4	0.5						

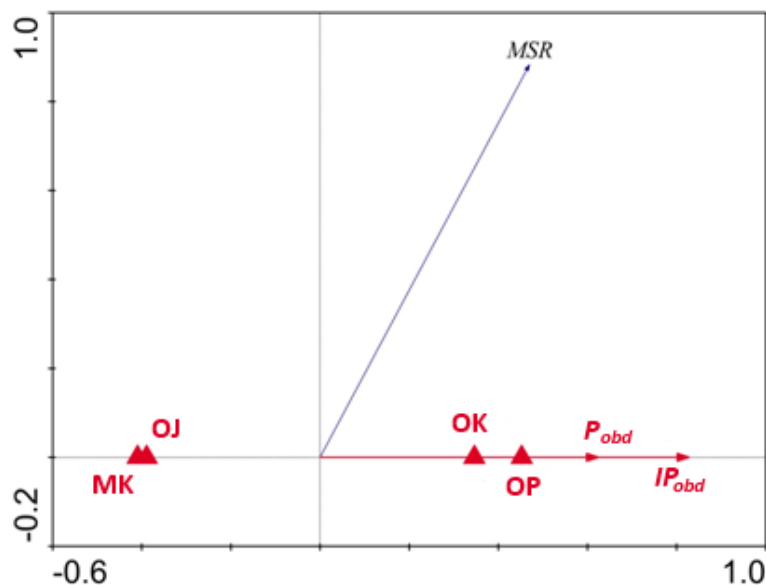
Tabulka 5: Průměrné hodnoty zachycené rozstříknuté zeminy ( $MSR$ , g·m<sup>-2</sup>) za sledovaná období v letech 2010, 2011 a 2012 na hodnocených variantách, sumy srážek ( $P_{obd}$ , mm) za sledovaná období a průměrná intenzita srážky  $\geq 0,2$  mm za 10 min ( $IP_{obd}$ , mm). Odlišné indexy mezi průměry v rámci sloupců dokumentují statistické rozdíly v rámci sloupců na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  (ANOVA, Tukey HSD)

rok/ varianta	období/ <i>MS</i> (g/m <sup>2</sup> )																	
<i>P<sub>obd</sub></i>																		
<i>IP<sub>obd</sub></i>																		
2010	9.6.-	11.6.-	15.6.-	18.6.-	28.6.-	19.7.-	23.7.-	5.8.-	10.8.-	16.8.-	26.8.-	26.8.-	26.8.-	26.8.-	26.8.-	26.8.-	26.8.-	26.8.-
	11.6.	15.6.	18.6.	28.6.	8.7.	23.7.	5.8.	10.8.	16.8.	26.8.	13.9.	13.9.	13.9.	13.9.	13.9.	13.9.	13.9.	13.9.
OK	698.3a	133.6a	62.7a	18.3a	1131.4a	98.0a	661.1a	115.0a	130.3a	23.5a	76.6a	76.6a	76.6a	76.6a	76.6a	76.6a	76.6a	76.6a
OH	1683.4b	305.4b	120.1b	15.4a	2121.7b	301.4b	987.5a	357.3b	182.9a	37.5a	279.2b	279.2b	279.2b	279.2b	279.2b	279.2b	279.2b	279.2b
<i>P<sub>obd</sub></i>	3.8	15.8	4.9	1.1	17.5	27.6	79.8	48.6	34	3.7	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5
<i>IP<sub>obd</sub></i>	1.13	0.35	0.46	0.20	1.28	0.66	0.67	0.57	0.96	0.33	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
2011	18.5.-	24.5.-	7.6.-	9.6.-	13.6.-	17.6.-	20.6.-	22.6.-	23.6.-	4.7.-	7.7.-	11.7.-	14.7.-	18.7.-	20.7.-	25.7.-	1.8.-	10.8.-
	24.5.	7.6.	9.6.	13.6.	17.6.	20.6.	22.6.	23.6.	4.7.	7.7.	11.7.	14.7.	18.7.	20.7.	25.7.	1.8.	10.8.	16.8.
OK	488.66a	1276.64a	13.12a	33.92a	94.40a	142.36a	7.74a	119.52a	18.64a	8.92a	32.84a	29.07a	10.39a	79.57a	92.30a	19.17a	21.70a	20.49a
OH	1165.80b	6587.13b	73.56b	162.43b	331.78b	185.67a	92.26a	276.83b	49.44b	20.94a	113.94a	71.28b	16.30a	174.61b	230.87b	48.95b	20.64a	40.93b
<i>P<sub>obd</sub></i>	8.3	36.0	5.3	10.5	11.6	10.3	4.6	10.4	16.0	4.0	18.9	11.0	7.4	27.9	46.9	33.6	12.0	15.4
<i>IP<sub>obd</sub></i>	0.9	1.2	0.5	0.3	1.2	0.6	0.3	1.0	0.4	0.4	0.6	1.1	0.3	2.5	0.7	0.3	0.4	0.5
2012	4.5.-	11.5.-	23.5.-	12.6.-	13.6.-	19.6.-	21.6.-	3.7.-	5.7.-	10.7.-	18.7.-	23.7.-	23.7.-	23.7.-	23.7.-	23.7.-	23.7.-	23.7.-
	7.5.	15.5.	12.6.	13.6.	19.6.	21.6.	3.7.	5.7.	10.7.	18.7.	23.7.	13.8.	13.8.	13.8.	13.8.	13.8.	13.8.	13.8.
OK	11.5a	15.3a	21.1a	54.5a	7.7a	395.6a	1003.1a	157.7a	304.5a	159.7a	38.1a	26.9a	26.9a	26.9a	26.9a	26.9a	26.9a	26.9a
OH	150.2b	63.6b	73.8b	173.3b	26.7b	1042.5b	2571.7a	261.2a	718.6a	398.4b	44.7a	20.3a	20.3a	20.3a	20.3a	20.3a	20.3a	20.3a
<i>P<sub>obd</sub></i>	12	6.3	24.6	5.4	8.6	19	59	17.4	31.6	25.8	13.2	18	18	18	18	18	18	18
<i>IP<sub>obd</sub></i>	1.1	0.4	0.4	0.7	0.4	0.9	1.6	0.6	2.3	0.7	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Tabulka 6: Průměrné hodnoty zachycené rozstříknuté zeminy (*MS*, g·m<sup>-2</sup>) za sledovaná období v letech 2010, 2011 a 2012 na variantách OK a OH, sumy srážek (*P<sub>obd</sub>*, mm) za sledovaná období a průměrná intenzita srážky  $\geq 0,2$  mm za 10 min (*IP<sub>obd</sub>*, mm). Odlišné indexy mezi průměry v rámci sloupců dokumentují statistické rozdíly v rámci sloupců na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  (ANOVA, Tukey HSD)



Pro vyhodnocení závislosti  $MSR$  na sumě a intenzitě srážek za období ( $P_{obd}$ ,  $IP_{obd}$ ) a na použité technologii byla použita redundanční analýza (RDA), (ter Braak et Šmilauer, 2002), (graf 4). Z tohoto grafu vyplývá, že hodnoty  $MSR$  byly z uvedených nezávislých proměnných nejvíce ovlivňovány intenzitou srážky naměřenou za období ( $IP_{obd}$ ) vztahující se k dané hodnotě  $MSR$ , méně pak sumou srážky za toho období ( $P_{obd}$ ). Při porovnání vlivnosti jednotlivých variant zpracování půdy na hodnotách  $MSR$  ukázal ordinační diagram vyšší vlivnost zpracování půdy na variantě OP, méně pak na variantě OK. Přítomnost variant OJ a MK v opačném kvadrantu dokumentuje negativní korelaci těchto variant ve vztahu k  $MSR$ . Celkově se pak vliv všech uvedených faktorů na kapkovou erozi statisticky průkazně podílí z 22 % ( $P = 0,002$ ).



Graf 4: Ordinační diagram metody RDA (ter Braak and Šmilauer, 2002) popisuje efekt použitého zpracování půdy OP až MK, sumy srážek ( $P_{obd}$ ) a průměrné intenzity srážky ( $IP_{obd}$ ) za testované roky 2010, 2011 a 2012 na hodnotu kapkové eroze ( $MSR$ )

Z tabulky 7 je patrné, že  $IP_{obd}$  měla vliv především v první části vegetace. V době, kdy byl porost již rozvinut (střed vegetace), nebyla nalezena významná korelace  $IP_{obd}$  a  $MSR$  ani  $P_{obd}$  a  $MSR$ . V poslední části vegetace je naopak patrná korelace jak s  $IP_{obd}$ , tak i s  $P_{obd}$ , přičemž vliv sumy srážky za období je vyšší.

Část vegetace	Varianta	$P_{obd}$	$IP_{obd}$
počátek vegetace (n = 36)	OP	0.26 (0.15)	<b>0.67 (0.65)</b>
	OJ	0.27 (0.17)	<b>0.70 (0.68)</b>
	OK	0.16 (-0.01)	<b>0.71 (0.70)</b>
	MK	<b>0.42 (0.37)</b>	<b>0.66 (0.64)</b>
střed vegetace (n = 100)	OP	0.18 (0.15)	0.11 (0.06)
	OJ	-0.04 (-0.05)	0.01 (0.03)
	OK	<b>0.31 (0.26)</b>	0.20 (0.11)
	MK	0.06 (0.03)	0.11 (0.09)
konec vegetace (n = 28)	OP	<b>0.71 (0.59)</b>	<b>0.49 (-0.01)</b>
	OJ	<b>0.61 (0.48)</b>	<b>0.43 (0.01)</b>
	OK	<b>0.62 (0.38)</b>	<b>0.58 (0.26)</b>
	MK	<b>0.50 (0.12)</b>	<b>0.62 (0.44)</b>

Tabulka 7: Vliv  $P_{obd}$ , případně  $IP_{obd}$ , na jednotlivých zpracováních půdy na hodnoty kapkové eroze během měřených let 2010, 2011 a 2012. Vliv je vyjádřen pomocí korelačních koeficientů a koeficientů parciální korelace (v závorce) mezi hodnotami kapkové eroze a hodnotami  $P_{obd}$  a  $IP_{obd}$  v letech 2010 – 2012. Jako kovariáty v parciální korelaci byly použity  $P_{obd}$  a  $IP_{obd}$ .  
Období počátku vegetace bylo ukončeno datem 11.6. 2010, 7.6.2011 a 21.6.2012. Období konce vegetace bylo stanoveno od 5.8. 2010, 1.8.2011 a 23.7.2012. Data pro střed vegetace se nacházejí mezi výše uvedenými a jsou patrná z tabulky 5.

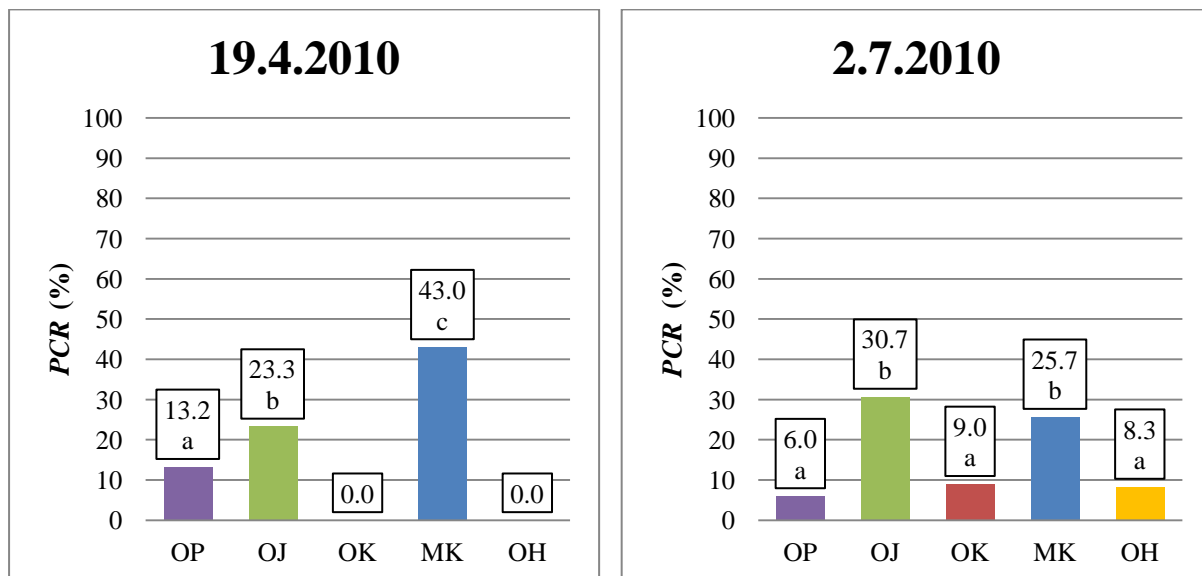
## 5.2. Pokryvnost půdy vegetací a rostlinnými zbytky

### 5.2.1. Rok 2010

Pokryvnost půdy byla v roce 2010 hodnocena ve dvou termínech. První hodnocení proběhlo dne 19.4. 2010, cca měsíc před výsevem (graf 5, vlevo). Procentické hodnocení pokryvnosti je zachyceno v grafu 3. Statisticky průkazně nejvyšší procento pokrytí půdy se projevilo na variantě MK, kde bylo tvořeno slámou předplodiny. Rostliny jílku vytrvalého zajistily pokrytí povrchu půdy varianty OJ ze 23,3 %. Pokryvnost půdy na variantě OP byla dána vzešlými plevely. Varianty OK a OH byly bez rostlinného pokryvu.

Na druhém hodnocení začátkem července (2.7.2010) zobrazeném v grafu 5 (vpravo) je vidět vliv zapojení porostu jílku (varianta OJ). Rostliny i přes aplikaci neselektivního herbicidu zregenerovaly a pokryly půdu v meziřádku mezi rostlinami kukuřice. Sláma na variantě MK byla v porovnání s prvním měřením již rozložena. Avšak méně,

než na variantě OP, kde byl proces rozkladu herbicidně umrtvených plevelů rychlejší. *PCR* na variantě OP se průkazně nelišilo od hodnot variant OK a OH. Na těch byl při podzimním hodnocení zaznamenán také pokryv plevely.



Graf 5: Hodnoty pokryvnosti rostlinnými zbytky na povrchu půdy (%) na hodnocených variantách (OP až MK) dne 19.4.2010 (vlevo) a 2.7.2010 (vpravo). Odlišné indexy mezi průměry v rámci sloupců dokumentují statistické rozdíly v rámci sloupců na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  (ANOVA, Tukey HSD)

### 5.2.2. Rok 2011

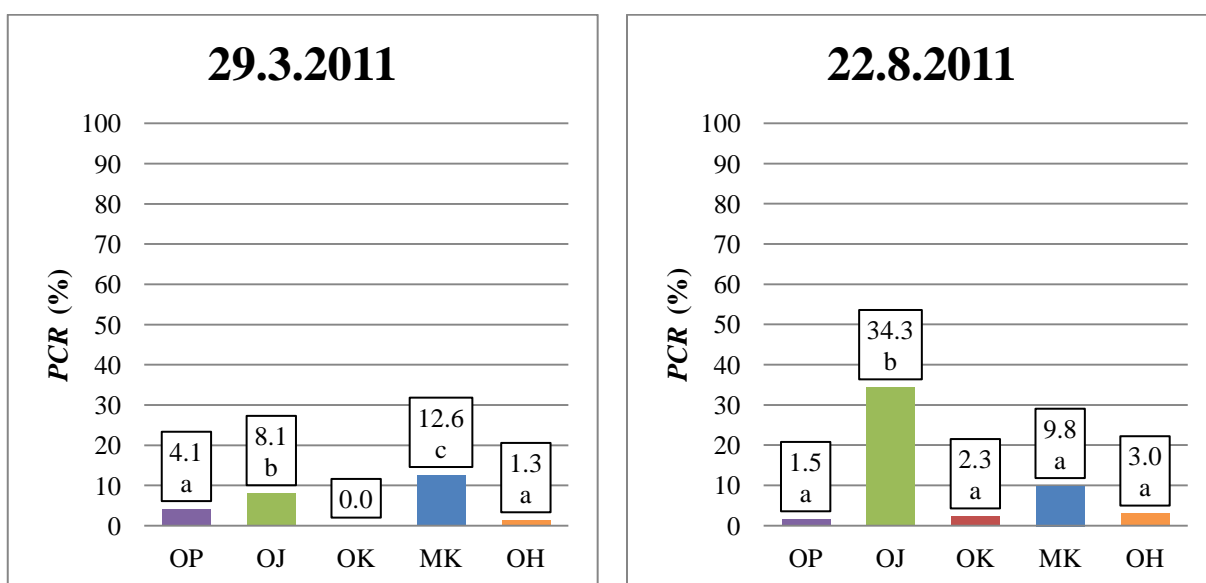
V jarním období roku 2011 byla situace podobná (graf 6, vlevo). Mezi hodnotami *PCR* na jednotlivých variantách byly opět statisticky průkazné rozdíly. Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány znovu na MK, ačkoli pokryvnost půdy zde byla nižší v porovnání s rokem 2010. Jílek vytrvalý nevytvořil na jaře významnější pokryv povrchu půdy, přesto se jeho hodnota signifikantně lišila od hodnot *PCR* variant OH a OP, kde vzešlé plevely neposkytly dostatečný pokryv půdy. Varianta OK byla, stejně jako v roce 2010, ponechána od podzimu v hrubé brázdě a na povrchu nebyla zaznamenána žádná pokryvnost.

Při druhém hodnocení pokryvnosti půdy byly výsledky taktéž velmi podobné jako v roce 2010 (graf 6, vpravo). Jílek na variantě OJ znovu zregeneroval a vytvořil statisticky průkazně nejvyšší pokryvnost. Shodně s předchozím rokem byl pozorován rozklad slámy mezi řádky kukuřice na variantě MK. Díky rozkladu slámy nebyly mezi *PCR* na variantě MK statisticky průkazné rozdíly ve srovnání s hodnotami variant OP, OK a OH.

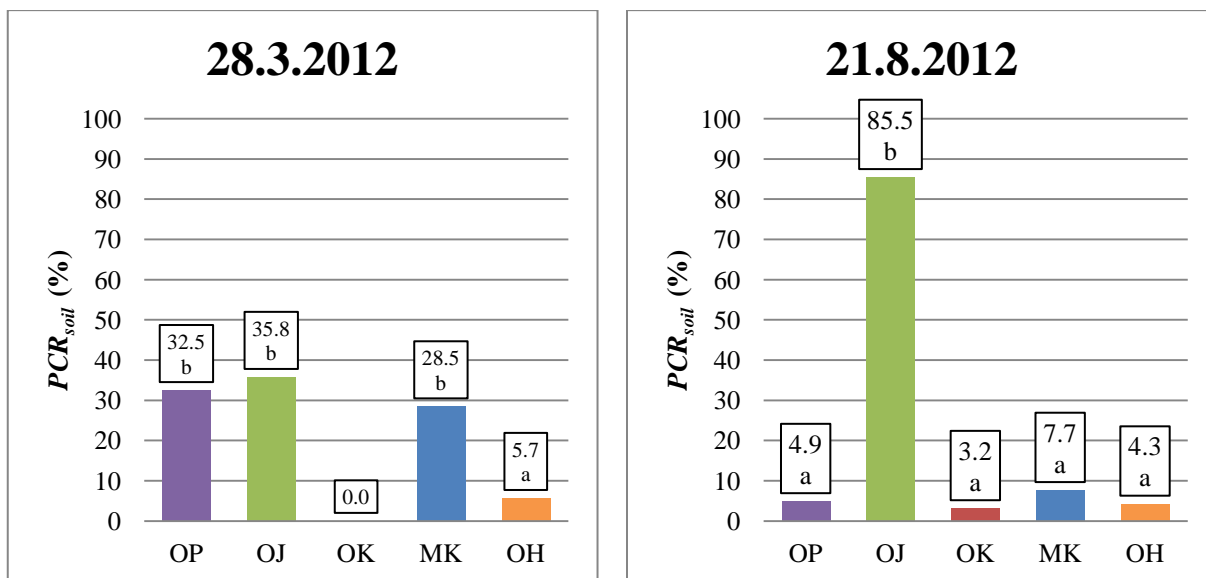
### 5.2.3. Rok 2012

Při prvním hodnocení 28.3. 2012 (graf 7, vlevo) bylo zjištěno vyšší procentuální pokrytí na variantě OP, které bylo způsobeno výskytem plevelů vzešlých na urovnaném povrchu půdy. U varianty MK pak tvořila PCR sláma předplodiny, která zůstala na povrchu půdy po provedení mělkého kypření. Na OJ byly přítomny rostliny jílku vytrvalého. V době hodnocení pokryvnosti se však jednalo o mrtvé zbytky rostlin po aplikaci neselektivního herbicidu. U varianty OK ponechané od podzimu v hrubé brázdě nebylo na povrchu zaznamenáno žádné pokrytí rostlinami ani jejich zbytky.

V termínu druhého hodnocení pokryvnosti (21.8.2012, graf 7, vpravo) se plochách OP a OK vyskytovaly odumřelé plevele (vliv postemergentní aplikace herbicidů). Stejně tomu bylo také na variantě OH. Na OJ pak byly dominantní rostliny jílku vytrvalého, které regenerovaly. PCR na variantě OJ se statisticky průkazně lišilo od ostatních variant. Hodnoty na variantě MK jsou opět důsledkem rozkladu slámy na povrchu.



Graf 6: Hodnoty pokryvnosti rostlinnými zbytky na povrchu půdy (%) na hodnocených variantách (OP až MK) dne 29.3.2011 (vlevo) a 22.8.2011 (vpravo). Odlišné indexy mezi průměry v rámci sloupců dokumentují statistické rozdíly v rámci sloupců na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  (ANOVA, Tukey HSD)



Graf 7: Hodnoty pokrývnosti rostlinnými zbytky na povrchu půdy (%) na hodnocených variantách (OP až MK) dne 28.3.2012 (vlevo) a 21.8.2012 (vpravo). Odlišné indexy mezi průměry v rámci sloupců dokumentují statistické rozdíly v rámci sloupců na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  (ANOVA, Tukey HSD)

### 5.3. Stabilita půdních agregátů

Varianta	Datum měření					
	9.6.2010	21.9.2010	29.3.2011	18.8.2011	28.3.2012	21.8.2012
OP	0.35 ab	0.35 a	0.52 b	0.45 ab	0.44 a	0.54 b
OJ	0.40 bc	0.47 b	0.44 ab	0.54 c	0.48 a	0.51 b
OK	0.31 a	0.33 a	0.45 ab	0.44 ab	0.48 a	0.46 ab
MK	0.47 c	0.41 ab	0.46 ab	0.49 bc	0.40 a	0.48 ab
OH <sub>m</sub>	0.31 a	0.38 ab	0.40 a	0.39 a	0.37 a	0.45 ab
OH <sub>v</sub>	0.32 a	0.37 a	0.38 a	0.43 ab	0.37 a	0.39 a

Tabulka 8: Stabilita půdních agregátů v letech 2010, 2011 a 2012. Malá písmena u označení varianty OH značí odběr z vrcholu hrůbků (v) a z prostoru mezi hrůbků (m). Odlišné indexy mezi průměry v rámci sloupců dokumentují statistické rozdíly v rámci sloupců na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  (ANOVA, Tukey HSD)

#### 5.3.1. Varianty bez hrůbků

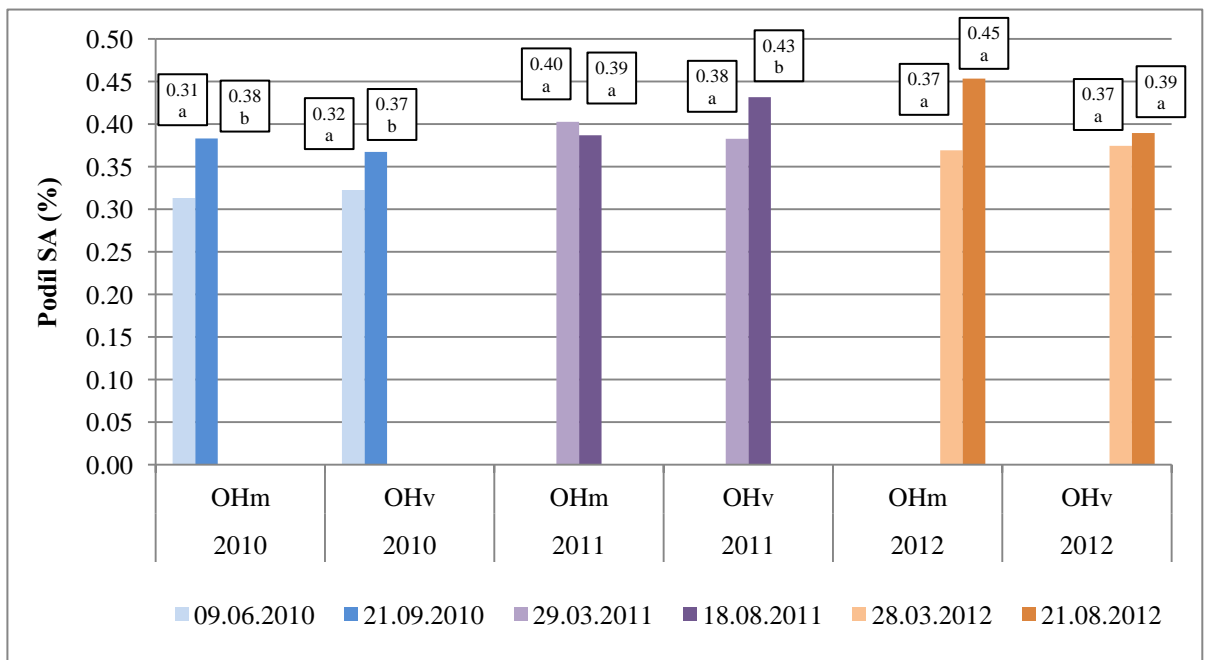
Nárůst podílu stabilních agregátů (SA) mezi prvním a druhým odběrem byl vždy zaznamenán na OJ (tab. 8). U ostatních variant nebyl patný jednotný trend nárůstu či poklesu. Přesto byly patrné rozdíly mezi variantami v jednotlivých letech, a to především v roce 2010. Zde byl nejnižší podíl SA zjištěn na variantě OK. Naopak v roce 2011 dosahovala varianta

OK srovnatelných hodnot jako OP a OJ a nejnižší podíl SA byl při prvním i druhém odběru zjištěn na OH. Rok 2012 neukázal signifikantní rozdíl mezi variantami při prvním hodnocení. Při druhém odběru pak byl statisticky průkazný rozdíl mezi OP a OJ.

### 5.3.2. Varianta s hrůbky

Při srovnání podílu SA v letech 2010, 2011 a 2012 byly v porovnání s ostatními variantami zjištěny nejnižší hodnoty variantách OHm a OHv, a to při prvním i druhém měření roku (tab. 8).

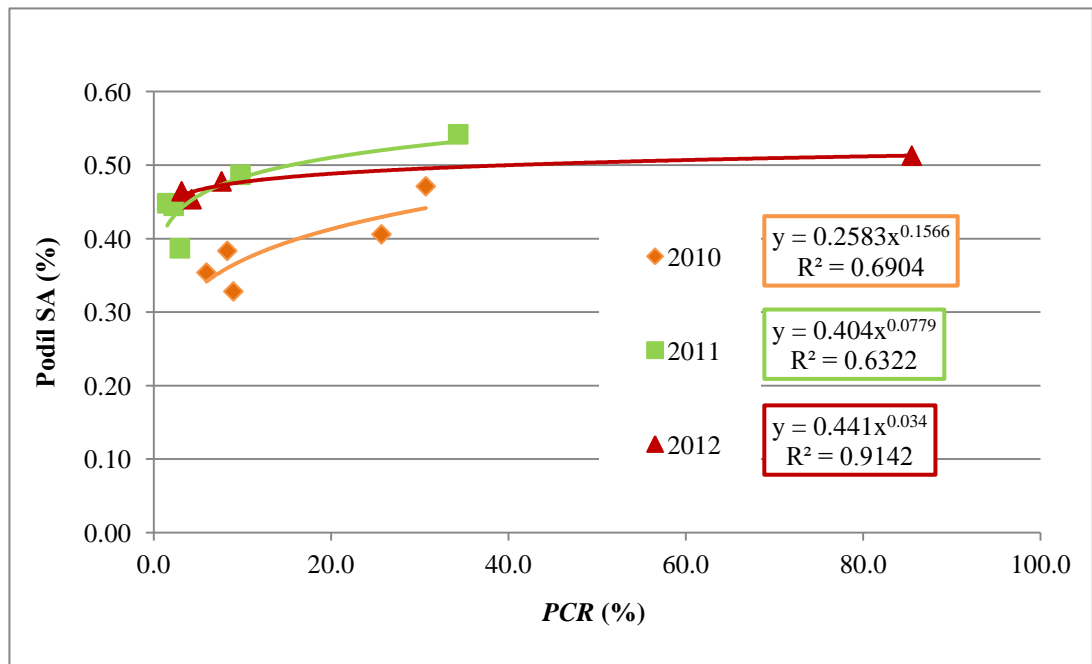
Při porovnání změny mezi prvním a druhým měřením roku, byl jak v letech 2010, tak 2012 patrný nárůst hodnot podílu SA v mezihrůbku i na vrcholu hrůbku (graf 8). V roce 2011 byl mezi prvním a druhým měřením naopak zaznamenán pokles podílu SA na variantě OHm.



Graf 8: Podíl stabilních agregátů (%) na variantě OH v mezihrůbku (OHm) a na vrcholu hrůbku (OHv) a změna mezi prvním a druhým měřením během let 2010, 2011 a 2012. Odlišné indexy mezi průměry v rámci sloupců dokumentují statistické rozdíly v rámci sloupců na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  (ANOVA, Tukey HSD)

### 5.3.3. Závislost podílu stabilních agregátů na pokryvnosti půdy

Při prvním měření let 2010, 2011 a 2012 nebyla patrná závislost podílu SA a pokryvnosti. Při druhém měření v roce 2012 byla zjištěna nejtěsnější závislost podílu SA na hodnotách PCR (graf 9). V letech 2010 a 2011 nebyla zaznamenána tak silná závislost podílu SA na PCR, koeficient determinace dosáhl hodnot 0,6904 a 0,6322.



Graf 9: Závislost podílu SA (%) na pokryvnosti půdy PCR (%) při druhém odběru v letech 2010, 2011, 2012. Data z variant OP až OH

## 6. DISKUSE

### 6.1. Vliv technologie zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze a jejich souvislost s významem pokryvu povrchu půdy

Jak vyplývá z výsledkové části, mezi schopnostmi jednotlivých technologií zpracování půdy a zakládání porostů omezovat kapkovou erozi jsou patrné rozdíly. Tyto rozdíly jsou zřejmě dány několika faktory.

Prvním z nich je pravděpodobně vliv technologie na množství mulče zanechané na povrchu půdy, ať už se jedná o pokryv plevy, slámou či jílkem vytrvalým. Tento závěr byl vyvozen na základě zjištěných hodnot pokrývnosti a hodnot kapkové eroze. V případě varianty MK jsou patrné rozdílné hodnoty *PCR* v letech 2010 a 2011. Různé hodnoty pokrývnosti při prvním měření v daném roce jsou pravděpodobně způsobeny různým množstvím posklizňových zbytků, které po sobě zanechávají jednotlivé předplodiny. V roce 2010 byla předplodinou pšenice ozimá, naproti tomu v roce 2011 se jednalo o ječmen jarní. Jak uvádí Kolbe et al. (2011), produkce slámy v případě ječmene je v porovnání s pšenicí nižší. Lze tedy říci, že varianta MK po počátečním hodnocení poskytovala v letech 2010 a 2012 přijatelnou ochranu půdy, a to díky hodnotám *PCR* ( $PCR > 30 \%$ ), (Morgan, 2005) bez ohledu na odlišné předplodiny. Avšak v průběhu vegetace docházelo k rozkladu slámy. Poměr C : N pro ječmen je užší než v případě pšenice, proto se bude tato sláma rozkládat rychleji (Nicolardot et al., 2001; Kolbe et al., 2011). Edwards et al. (2000) ve své práci poukazuje na prokazatelný efekt mulče tvořeného slámou. Hodnoty kapkové eroze v tomto experimentu dosahovaly o 36 % nižších hodnot ve srovnání s pokrytím pouze pětiprocentním.

Porovnáme-li variantu MK s variantou OJ, je patrný opačný průběh. Jílek byl před setím porostů herbicidně umrtven. Avšak herbicidní opatření nemělo dostatečnou účinnost, pravděpodobně z důvodu nízkých teplot. Účinná látka herbicidu nebyla zřejmě rostlinami dostatečně přijata, a tudíž došlo pravděpodobně k horší translokaci do kořenového systému jílku. Podobný účinek pozorovali u pýru plazivého Devine et al. (1983). Rostliny jílku na variantě OJ v průběhu vegetace regenerovaly a zajišťovaly vyšší pokrývnost v meziřádcích kukuřice. Proto porovnáme-li hodnoty *MSR* na variantách OJ a MK, můžeme pozorovat, že nejspíše s postupujícím rozkladem slámy hodnoty *MSR* narůstaly na variantě MK, zatímco na variantě OJ díky regeneraci jílku klesaly. Efekt potlačení kapkové eroze porostem jílku zaznamenal také Parlak a Özaslan Parlak (2010). V pokusu provedeném van Dijk et al. (1996) byla díky pokryvu půdy kapková eroze redukována v porovnání s konvenčním způsobem zpracování půdy a přípravy setí nejvíce při přímém setí do mulče umrtveného žita (cca o 70 %



oproti konvenčnímu zpracování). O cca 60 % nižší hodnoty byly naměřeny při pokrytí povrchu slámou ( $PCR \doteq 44 \%$ ). Snížení o přibližně 50 % v tomto pokusu nastalo při zapravení mulče ozimého žita do půdy podmítkou.

Při hodnocení pokrývnosti varianty OP bylo na začátku roku 2012 také změřeno více než 30 % pokrývnosti povrchu. Přesto nelze říci, že by na variantě OP byly zjištěny nižší hodnoty *MSR* například v porovnání s hodnotami varianty MK. Jednou z příčin nedostatečné funkce rostlinného pokryvu při potlačení kapkové eroze na variantě OP může být jeho rychlý rozklad. Plevelé, jež se vyskytly na variantě OP, byly díky předseťové aplikaci totálního herbicidu umrtveny. Avšak pravděpodobně kvůli užšímu poměru C : N byly v porovnání se slámou na MK rychleji rozloženy. To je jedna z příčin, které mohou vysvětlit vysoké hodnoty *MSR* na variantě OP. Na pozitivní, i když krátkodobý vliv pokrývnosti plevelů, které tvoří při konvenčním zpracování prakticky jediný pokryv půdy, upozorňuje také van Dijk et al. (1996).

## **6.2. Vliv technologie zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze a jejich souvislost se stabilitou půdních agregátů**

Jak bylo uvedeno výše, vysoké hodnoty *MSR* na variantě OP lze vysvětlit více důvody. Kromě rychlého rozkladu plevelů může dalším důvodem být rozdílné zpracování půdy na podzim. Zatímco varianty OJ a MK byly v zimním období chráněny před povětrnostními vlivy rostlinným pokryvem, varianta OP a OK nikoli. Zatímco varianta OK zůstala po podzimní orbě v hrubé brázdě, povrch varianty OP byl urovnán. Povětrnostním vlivům od podzimu do jarního kypření pásů tak byla na OP vystavena svrchní vrstva půdy, která zůstala nezměněna. Díky vlivům počasí v této vrstvě pravděpodobně v průběhu zimy došlo k rozpadu agregátů. Tyto méně stabilní agregáty náchylnější ke kapkové erozi tak zůstaly v nezpracovaných pásech na povrchu půdy až do konce vegetace. Oproti tomu varianta OK byla ponechána přes zimu v hrubé brázdě a k urovnání povrchu došlo až na jaře vibračními bránami. Při předseťové přípravě tak došlo k mísení půdy, a tím k zapravení narušených agregátů do spodnějších vrstev půdy a naopak k přesunu stabilnějších agregátů k povrchu. Jako další faktor je nutné uvést výskyt hrud a větších půdních agregátů, jež vznikly při orbě. Na variantě OP byly tyto větší útvary kvůli působení povětrnostních vlivů degradovány. Naproti tomu na variantě OK se je nepodařilo předseťovou přípravou zcela odstranit. I faktor výskytu hrud mohl hrát vliv při tlumení kapkové eroze, jak popisuje např. Morgan (2005).

V pokusu byl také hodnocen podíl stabilních agregátů na jednotlivých variantách. Na základě výsledků těchto měření lze říci, že k nárůstu podílu stabilních agregátů na variantě OJ přispěly rostliny jílku vytrvalého. A to jednak zpevňující funkcí kořenů, ale i množstvím organické hmoty, jež byla jílkem do půdy dodána. Pozitivní vliv porostu na obsah organické hmoty, a tím také na stabilitu půdních agregátů ve vrstvě 0 – 150 mm potvrzuje práce Vasquéz-Mendéz et al. (2010). Kihara et al. (2011) popisují také pozitivní efekt posklizňových zbytků na podíl stabilních agregátů. Podobně se pozitivní vliv projevil na variantě MK, zřejmě jako důsledek vnosu organické hmoty do půdy, ale především díky tomu, že agregáty byly chráněny před poškozením kapkovou erozí. Stejně tak byly patrně před poškozením chráněny půdní agregáty rostlinami jílku vytrvalého na variantě OJ. Naopak nízké hodnoty podílu SA v porovnání s OJ a MK na variantách OP, OK a OH byly způsobeny v důsledku povětrnostních vlivů působících na nechráněný povrch, jak bylo již popsáno výše. Někteří autoři, jako například Angers et al. (1993), nízké hodnoty podílu stabilních agregátů připisují orebnímu zpracování půdy.

Při použití hrůbkového zpracování byly zaznamenány vyšší hodnoty *MS* v porovnání s hodnotami kontrolní varianty. Tento výsledek může mít více příčin. První příčinu je možné spatřovat v tom, že hrůbky byly vytvořeny již na podzim po provedení orby. Opět je tedy nutno poukázat, že hrůbky byly, stejně jako varianta OP, vystaveny od vytvoření hrůbků až do konce vegetace povětrnostním vlivům, aniž by zem byla nějak upravována (s výjimkou setí). Dalším faktorem, jenž by mohl objasnit naměřené hodnoty *MS*, může být fakt, že záchytné trychtýře byly umístěny v mezihrůbku, kam byl pravděpodobně koncentrován rozstřík půdy. Dále je nutné uvést, že hrůbky mají větší plochu v porovnání s variantami, jež jsou bez hrůbků. Dochází tak k nárůstu plochy vystavené působení srážky. Ačkoli je hrůbkové zpracování půdy (*ridge-tillage*) označováno jako půdoochranné, nelze ho srovnávat s variantou OH. Hlavní rozdíl je především v přítomnosti posklizňových zbytků na stěnách hrůbků, jež pohlcují energii srážky (Brant a kol., 2012). Tvorbě hrůbků na variantě OH předcházela orba, při níž byly posklizňové zbytky zapraveny do půdy, čímž došlo ke ztrátě jejich ochranného působení. Hrůbky tak byly pokryty pouze minimálně, jen v případě výskytu plevelů.

Při porovnání hodnot podílu stabilních agregátů v mezihrůbku a na vrcholu hrůbku bylo očekáváno, že díky působení kapkové eroze dojde mezi prvním a druhým odběrem daného roku k poklesu podílu stabilních agregátů, a to především v mezihrůbku. Měření toto neprokázalo. Jedním z možných vysvětlení může být zpevnění hrůbků kořeny rostlin a ochranný vliv vegetace kukuřice (Vasquéz-Mendéz et al., 2010).

### 6.3. Vliv technologie zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze a jejich souvislost s intenzitou a sumou srážky

Při hledání souvislostí mezi zpracováním půdy, sumou srážky za období a intenzitou srážky za období bylo zjištěno, že vliv těchto faktorů vysvětluje hodnotu *MSR* z 22 %.

Při rozdělení vegetace na 3 části bylo zjištěno, že vliv  $IP_{obd}$  je patrný především v první části vegetačního období. Možným vysvětlením tohoto zjištění je, že porost v tuto dobu dostatečně nepokrývá půdu. Účinek srážky tudíž není modifikován porostem a dopadající kapky mají přímý vliv na půdu.

Ve druhé části vegetace pak nebyl zaznamenán ani vliv  $IP_{obd}$  ani vliv  $P_{obd}$ . Opět se proto nabízí vysvětlení související se strukturou porostu kukuřice. Porost kukuřice je v tomto období již zapojen. Dochází proto k modifikaci srážky porostem. Problematiku distribuce srážky v porostu řeší ve své práci Zábranský a kol. (2013). Srážková voda je při nízké sumě srážky (0,2 – 0,4 mm) zachycena porostem, odkud je odpařena. S narůstající sumou srážky pak narůstá také porostní srážka a klesá množství vody stékající po stonku. Případná srážka, jež pak díky dostatečné intenzitě pronikne porostem, může působit na půdu. Na to upozorňují také Quinn a Laflen (1983), kteří uvádějí vliv porostu na modifikaci srážky, avšak nedošli k závěru, že by srážka přímo propadající porostem měla sníženou kinetickou energii.

V poslední části vegetace byl pak opět zaznamenán vliv  $IP_{obd}$ . Větší vliv na hodnoty *MSR* byl však stanoven pro  $P_{obd}$ . V této poslední části vegetace již dochází k zasychání rostlin a ohybu listů. Možné působení sumy srážky za období lze vysvětlit tak, že srážková voda je zachycena na listech, jež jsou ale v důsledku sesychání ohnuty. Voda stékající z listů pak může působit v meziřádku kapkovou erozi jako důsledek odkapu z listů. Tento jev popisuje např. Quinn a Laflen (1983). Gemerlová a kol. (2013) zaznamenali v půdě až 20 mm krátery, jako důsledek odkapu vody z listů.

I přes výše uvedené závěry o vlivu sumy srážky a také její intenzity je nutné upozornit, že se jedná vždy o hodnoty srážek za období intervalů výměny trychtýře zachycujícího kapkovou erozi. Proto nelze pomocí této metody měření v konečném důsledku vyvodit přímé závislosti hodnoty *MSR* na sumě a intenzitě jednotlivé srážkové události. Pro sestavení podobné závislosti by bylo nutné kontinuální měření kapkové eroze, nikoli měření za období. Jako předmět dalšího zkoumání je proto možno označit vývoj metody kontinuálního měření hodnot *MSR* v polních podmínkách.

## 7. ZÁVĚR

Na základě provedených experimentů lze vyvodit následující závěry:

- Technologie zpracování půdy využívající pokryvu půdy mulčem brání kapkové erozi.
- Mulč tvořený živým i regenerovaným jílkem vytrvalým eliminoval působení kapkové eroze nejvýrazněji ze všech variant.
- Technologie mělkého kypření spojená s kypřením půdy v pruzích, mezi kterými je zanecháno dostatečné množství pomalu se rozkládajících posklizňových zbytků, eliminuje kapkovou erozi zvláště na počátku vegetačního období.
- Urovnání hrubé brázdy na podzim v kombinaci s rychle rozložitelným mulčem na povrchu nemá nižší schopnost eliminovat kapkovou erozi ve srovnání s plochami se stabilním mulčem (sláma) a živým mulčem (jílek vytrvalý).
- Hrůbková technologie, při níž nejsou stěny hrůbků pokryty mulčem, je náchylná k ohrožení kapkovou erozí.
- Se zvyšující se intenzitou srážky za měřené období narůstají hodnoty *MSR* především v první fázi vegetace, méně pak ve fázi poslední, kde převládá obdobný vliv sumy srážky za měřené období.
- Pokryv meziřádků porostu jílkem vytrvalým vede k nárůstu podílu stabilních agregátů.

## 8. SEZNAM LITERATURY

- Angers, D. A., Samson, N., Légère, A. 1993. Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in soil under barley production. *Canadian journal of soil science*, vol. 79, p. 51 – 59
- Bagnold, R. A. 1941. *The physics of blown sand and desert dunes*: London, Methuen and Co.
- In: Lyles, L. 1988. 4. Basic wind erosion processes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 22 – 23, p. 91 – 101
- Bazzoffi, P., Gardin, L. 2011. Effectiveness of the GAEC standard of cross compliance retain terraces on soil erosion control. *Italian journal of agronomy*, vol. 6 (s1): e 6, p. 43 – 51
- Blanco, H., Lal, R. 2008. *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer Science + Business Media B. V. p. 617. ISBN: 978-1-4020-8708-0
- Bolline, A. 1975. La mesure de l'intensité du splash sur sol limoneux. Mise au point d'une technique de terrain et premiers résultats. *Pédologie*, vol. 25, 199–210
- Bosh, D. D., Potter, T. L., Truman, C. C., Bednarz, C. W., Strickland, T. C. 2005 Surface runoff and lateral subsurface flow as a response to conservation tillage and soil-water conditions. *American society of Agricultural Engineers*, vol. 48 (6), p. 2137 – 2144
- Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J. 2012. Eliminace vodní eroze – půdoochranné technologie. *Farmář 1*, s. 24 - 26
- Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Holec, J., Cihlář, P., Fuksa, P., Procházka, L. 2011. Uplatnění pásového zpracování půdy v porostech silážní kukuřice. *Agromanuál 3*, s. 76 - 79
- Brodowski, R. 2009. Influence of moisture and density of silt loam on interrill erosion. *Acta Agrophysica* 14 (3), p. 567 – 576
- Brodowski, R. 2013. Soil detachment caused by divided rain power from raindrop parts splashed downward on sloping surface. *Catena*, vol. 105, p. 52 – 61
- Bronick, C. J., Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, vol. 124, p. 3 - 22
- Bryan, R. B. 2000. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, vol. 32, p. 385 – 415
- Castro Filho, C., Lourenço, A., Guimarães, M de F., Fonseca, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. *Soil and tillage research*, vol. 65(1), p. 45 – 51

- Chmelová, R., Šarapatka, B. 2002. Soil erosion by water: Contemporary research methods and their use. *Geographica*, vol. 37, p. 23 - 30
- Choudhary, M. A., Lal, R., Dick, W. A. 1997. Long-term tillage effects on runoff and soil erosion under simulated rainfall for central Ohio soil. *Soil & tillage research*, vol. 42, p. 175 – 184
- Devine, M. D., Bandeen, J. D., McKersie, B. D. 1983. Temperature effects on glyphosate absorption, translocation, and distribution in quackgrass (*Agropyron repens*). *Weed science*, vol. 31, p. 461 – 464
- DIN 19683-16. Bodenbeschaffenheit - Physikalische Laboruntersuchungen – Teil 16: Bestimmung der Aggregatstabilität nach dem Siebtauchverfahren. 2009. Deutsches Institut für Normung e. V.
- Dufková, J., Toman, F. 2004. Eroze půdy v podmínkách klimatické změny. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. 2004. Seminář „Extrémny počasí a podnebí“, 42 s. ISBN 80-86690-12-1
- Edwards, L. M., Volk, A., Burney, J. R. 2000. Mulching potatoes: Aspects of mulch management systems and soil erosion. *American Journal of Potato Research*, vol. 77, p. 225 - 232
- Fortin, M. C., 1993. Soil temperature, soil water and corn development following in-row residual removal. *Agronomy journal*, vol. 85 (3), p. 571 – 576
- Francis, C., Jones, A., Crookston, K., Witler, K., Godman, S. 1986. Strip cropping corn and grain legumes: a review. *American journal of alternative agriculture*, vol. 1 (4), p.159 – 164
- Fryrear, D. W., Bilbro, J. D., Saleh, A., Schromberg, H., Stout, J. E., Zobeck, T. M. 2000. RWEQ: improved wind erosion technology. *Journal of Soil and Water Conservation (Ankeny)*, vol. 55: 2, p. 183 – 189
- Gemerlová, M., Brant, V., Zábranský, P., Pivec, J., Kroulík, M. 2013. Eliminují užší řádky rizika vzniku vodní eroze v porostech kukuřice seté? *Agromanuál 2/2013*, p. 72 – 74
- Gemerlová, M., Brant, V., Zábranský, P., Pivec, J., Kroulík, M., Škeříková, M. 2012. Eliminace kapkové eroze v porostech kukuřice seté. *Aktuální témata v pícninářství a trávníkářství 2012*, Česká zemědělská univerzita v Praze. 99 s.
- Grisso, R. D., Schuler, R. T., Hanna, H. M., Willford, J., Hart, W. 2000. Crop cultivators, chapter 28, 277 – 231 in: Randal, R. C. (ed) 2000. *Conservation tillage systems and management*. Midwest plan service, Ames, 270

- Hůla, J., Procházková, B., Badalíková, B., Dovrtěl, J., Dryšlová, Hartman, I., Hrubý, J., Hrudová, E., Javůrek, M., Kasal, M., Klem, K., Kovaříček, P., Kroulík, M., Kumhála, F., Mašek, J., Neudert, L., Růžek, P., Smutný, V., Nová, M., Winkler, J. 2008. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press, s. r. o., Praha, ISBN 978-80-86726-28-1
- Hussain, I., Olson, K. R., Ebelhar, S. A. 1999. Impacts of tillage and no-till on production of maize and soybean on an eroded Illinois silt loam soil. *Soil and tillage research*, vol. 52 (1 – 2), p. 37 – 49
- Janeček, M., Bohuslávek, J., Gergel, J., Hrádek, F., Kovář, P., Kubátová, E., Pasák, V., Pivcová, J., Tippl, M., Toman, O., Váška, J. 2002. Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství. 201 s. ISBN: 85866-85-8
- Janeček, M., Dostál, T., Kozlovsky – Dufkova, J., Dumbrovský, M., Hůla, J., Kadlec, V., Konečná, J., Kovář, P., Krása, J., Kubátová, E., Kobzová, D., Kudrnáčová, M., Novotný, I., Podhrázká, J., Pražan, J., Procházková, E., Středová, H., Toman, F., Vopravil, J., Vlasák, J. 2012. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Česká zemědělská univerzita Praha, ISBN 978-80-87415-42-9
- Kihara, J., Bationo, A., Mugendi, D. N., Martius, C., Vlek, P. L. G. 2011. Conservation tillage, local organic resources and nitrogen fertilizer combinations affect maize productivity, soil structure and nutrient balances in semi-arid Kenya. *Nutrient cycling in agroecosystems*, vol. 90 (2), p. 213 - 225
- Kinnel, P. I. A. 1991. The effect of flow depth on sediment transport induced by raindrops impacting shallow flows. *Transactions of the American society of agricultural engineers*, vol. 34 (1), p. 161 – 168
- Kinnell, P. I. A. 2005. Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: a review. *Hydrological processes* 19, p. 2815 – 2844
- Kolbe, H., Meyer, D., Dittrich, B., Köhler, B., Schmidtke, K., Wundelich, B., Lux, Q. 2011. Berichte aus dem Ökolandbau. Schriftenreihe Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Heft 6/2011, 96 p.
- Kumar, K., Goh, K., M. 2002. Management practices of antecedent leguminous and non-leguminous crop in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake, soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance. *European journal of agronomy*, vol. 16, p. 295 – 308.
- Lal, R. 1975. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. *Soil science society of America journal*, vol. 40 (5), p. 762 – 768

- Lal, R. 1994. Soil erosion: Research methods. St. Lucie Press, 340 p. ISBN 1884015093
- in: Stroosnijder, L. 2005. Measurement of erosion: Is it possible? *Catena*, vol. 64, p. 162 – 173
- Le Bissonnais, Y., Renaux, B., Delouche, H. 1995. Interactions between soil properties and moisture content on crust formation, runoff and interrill erosion from tilled loess soils. *Catena*, vol. 25, p. 33 – 46
- Le Guillou, C., Angers, D. A., Leterme, P., Menasseri-Aubry, S. 2012. Changes during winter in water-stable aggregation due to crop residue quality. *Soil use and management*, vol. 28, p. 590 – 595
- Leguédois, S., Planchon, O., Legout, C., Le Bissonnais, Y. 2005. Splash projection distance for aggregated soils. *Soil Science* (69), p. 30 – 37
- Licht, M. A., Al-Kaisi, M. 2005. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil and tillage research*, vol. 80 (1–2), p. 233 - 249
- Morgan, R. P. C. 1981. Field measurement of splash erosion. *Erosion sediment transport measurement (Proceedings of the Florence Symposium)*. IAHS, p. 273 – 382
- Morgan, R. P. C. 1985. Soil erosion measurement and soil conservation research in cultivated areas of the UK. *The Geographical Journal*, vol. 151 (1), p. 11 - 20
- Morgan, R. P. C. 2005. *Soil erosion & conservation*. Blackwell Publishing. p. 304.  
ISBN: 1-4051-1781-1
- Morgan, R. P. C. 2007. Field studies of rainsplash erosion. *Earth surface processes*, vol. 3 (3), p. 295 – 299
- Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., Smith, R. E., Govers, G. Poesen, J. W A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M. E. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth surface processes and landforms*, vol. 23, p. 527 - 544
- Nicolardot, B., Recous, S., Mary, B. 2001. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamics model based on the C : N ration of the residues. *Plant and soil*, vol. 228, p. 83 – 103
- Parlak, M., Özaslan Parlak, A. 2010. Measurement of splash erosion in different cover crops. *Turkish journal of field crops*, vol. 15 (2), p. 169 – 173
- Pivec, J., Brant, V., Moravec, D. 2006. Analysis of the potential evapotranspiration demands in the Czech Republic between 1961 – 1990. *Biologia*, vol. 61 (19), p. 294 – 299



- Plante, A. F., McGill, W. B. 2002. Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies. *Soil and tillage research*, vol. 66 (1), p. 79 – 92
- Poesen, J., Torri, D. 1988. The effect of cup size on splash detachment and transport measurements: Part I. Field measurements. *Catena supplement*, vol. 12, p. 113 – 126 in: Morgan, R. P. C. 2005. *Soil erosion & conservation*. Blackwell Publishing. p. 304. ISBN: 1-4051-1781-1
- Quinn, N. W., Laflen, J. M. 1983. Characteristic of raindrop throughfall under crop canopy. *Transactions of the ASAE*, vol. 26 (5), p. 1445 - 1450
- Randal, G., Hill, P. Fall strip-tillage systems, chapter 23, p. 192 – 199 in: Randal, R. C. (ed). 2000. *Conservation tillage systems and management*. Midwes Plan Service, Ames, p. 270
- Roth, Ch. 1997. Bulk density of surface crusts: Depth functions and relationships to texture. *Catena*, vol. 29 (3 - 4), p. 223 – 237
- Salles, Ch., Poesen, J., Sempere-Torres, D. 2002. Kinetic energy of rain and it's functional relationship Roth intensity. *Journal of hydrology*, vol. 257, p. 256 – 270
- Shao, Y., Raupach, M. R., Findlater, P. A. 1993. Effect of saltation bombardement on the Entrainment of dust by wind. *Journal of Geophysical Research*, vol. 98, no. D7, p. 12719 – 12726
- Sharma, P. P., Gupta, S. C., Rawls, W. J. 1991. Soil Detachment by Single Raindrops of Varying Kinetic Energy. *Soil science society of America journal*, vol. 55 (2), p. 301-307
- Stroosnijder, L. 2005. Measurement of erosion: Is it possible? *Catena*, vol. 64, p. 162 – 173
- Tackett, J. L., Pearson, R. W. 1965. Some characteristics of soil crust formed by simulated rainfall. *Soil science* 99(6), p. 407 - 413. in: Morgan, R. P. C. 2005. *Soil erosion & conservation*. Blackwell Publishing. p. 304. ISBN: 1-4051-1781-1
- ter Braak, C. J. F., Šmilauer, P. 2002. *CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for Canonical Community Ordination (Version 4.5)*. Microcomputer Power, Ithaca, 500 p.
- Tukelboom, F., Poesen, J., Ohler, I., Van Keer, K., Ongprasert, S., Vlaasak, K. 1997. Assessment of tillage erosion rates on steep slopes in northern Thailand, *Catena*, vol. 29, p. 29 – 44

- Unger, P. W., Stewart, B. A., Parr, J. F., Singh, R. P. 1991. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. *Soil & tillage research*, vol. 20, p. 219 – 240
- van Dijk, A. I. J. M., Bruijnzeel, L. A., Rosewell, C. J. 2002. Rainfall intensity-kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. *Journal of hydrology*, vol. 261, p. 1 - 23
- van Dijk, P. M., van der Zijp, M., Kwaad, F. J. P. M. 1996. Soil erodibility parameters under various cropping systems of maize. *Hydrological processes*, vol. 10, p. 1061 – 1067
- Vásquez-Mendéz, R., Ventura-Ramos, E., Oleschko, K., Hernández-Sandoval, L., Parrot, J.-F., Nearing, M.A. 2010. Soil erosion and runoff in different vegetation patches from semiarid Central Mexico. *Catena* 80, p. 162 - 169
- Ventura, E., Nearing, M. A., Norton, L. D. 2001. Developing a magnetic tracer to study soil erosion. *Catena*, vol. 43 (4), p. 277 – 291
- Verachtert, E., Maetens, W., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Deckers, J. 2011. Soil loss rates due to piping erosion. *Earth surface processes and landforms* 36, p. 1715 – 1725
- Vyn, T. J., Raimbult, B. A. 1993. Long-term effect of five tillage systems on corn response and soil structure. *Agronomy journal*, vol. 85 (5), p. 1074 – 1079
- Williams, J. D., Dobrowolski, J. P., West, N. E., Gillette, D. A. 1995. Microphytic crust influence on wind erosion. *Transactions of the ASAE*, vol. 38, p. 131 – 137
- Yang, X., Madden, L. V. 1993. Effect of ground cover, rain intensity and strawberry plants on splash of simulated raindrops. *Agricultural and forest meteorology*, vol. 65, p. 1 – 20
- Zábranský, P., Brant, V., Pivec, J., Gemerlová, M., Kroulík, M. 2013. Vliv abiotických stresorů na vlastnosti rostlin 2013, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha – Ruzyně, Česká zemědělská univerzita v Praze. 326 s., ISBN:978-80-213-2357-5
- Zachar, D. 1982. *Soil Erosion (Developments in Soil Science 10)*. VEDA, Publishing House of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava. p. 547. ISBN: 0-444-40882-7
- Zhang. X. C., Nearing, M. A., Polyakov, V. O., Friedrich, J. M. 2003. *Soil Science Society Journal*, vol. 67 (1), p. 279 – 288

### **Internetové zdroje**

Ministerstvo zemědělství ČR. Příručka ochrany proti vodní erozi. ISBN 987-80-7084-996-5 [online], [cit. 2013-03-27] Dostupné z <<http://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/ochrana-pudy/eroze-pudy/prirucka-ochrany-proti-vodni-erozi.html>>

- Kremper, W. D., Rosenau, R. C. 1986. Aggregate stability an size distribution. p. 425 – 442  
[online] [cit. 2013-03-27] Dostupné z  
<<http://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/732/3/585.pdf>>
- Sheet Erosion. Managing Natural Resources. [online] říjen 2012 [cit. 2013-03-27]. Dostupné  
z <<http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/WebPages/TPRY-5Z65Y4?open>>