

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra rostlinné výroby**



**Využití technologie úzkých řádků jako protierozního  
opatření při pěstování kukuřice**

## **Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Karel Nevěčný**

**Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Tomášek, Ph.D.**

© 2016 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Použití technologie úzkých řádků jako protierozního opatření při pěstování kukuřice" jsem vypracoval 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 autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 8. 4. 2016

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jaroslavu Tomáškoví, Ph.D. za ochotu, trpělivost a poskytnutí cenných rad a materiálů při vedení mé práce. Poděkování patří také mé rodině, která mě intenzivně podporuje nejen ve studiu, ale i v životě.

# Využití technologie úzkých řádků jako protierozního opatření při pěstování kukuřice

## Souhrn

Půda představuje základní, omezený a neobnovitelný přírodní zdroj. Jedná se o přírodní bohatství každé země. Proto je eroze půdy významným problémem nejen v podmínkách České republiky, ale také v globálním měřítku. V důsledku erozního procesu dochází k porušení stability půdních agregátů, ztrátám organické hmoty a živin či transportu půdy v rámci pozemku nebo mimo něj. Tyto skutečnosti působí nezvratné poškození půd, což má v konečném důsledku dopady jak ekologické, tak ekonomické. S růstem ploch širokořádkých plodin, mezi něž patří i kukuřice, stoupá zájem odborné i laické veřejnosti o řešení této problematiky. V současnosti jsou tak hledány nové technologie pěstování kukuřice, které by přispěly k eliminaci rizik, spojených s pěstováním této plodiny.

Cílem této diplomové práce bylo analyzovat vybrané půdoochranné technologie v porostu kukuřice v podniku ZD Krásná Hora nad Vltavou a. s. z pohledu jejich vlivu na vodní erozi půdy a na produkci biomasy. Analyzovány byly technologie zpracování půdy diskovým podmiřáčkem, přímé setí do vymrzající meziplodiny a jako kontrola byl založen úhor. Dále byly analyzovány dvě meziřádkové vzdálenosti založení porostu, a to konkrétně 37,5 cm a 75 cm.

Z výsledků práce je patrný pozitivní efekt přímého setí kukuřice ať už v úzkém či širokém řádku, které je efektivní především na počátku vegetačního období, které je pro kukuřici nejproblématictější. Co se týče výnosu biomasy, největšího výnosu biomasy bylo dosaženo u varianty s šířkou 75 cm a to u technologie setí do vymrzající meziplodiny.

Součástí práce je i literární rešerše, která pojednává o erozi, protierozních opatřeních, kukuřici a systémech zpracování půdy. Zvláštní pozornost je věnována tzv. půdoochranným technologiím, které nacházejí uplatnění zejména u širokořádkých plodin, jako je právě kukuřice.

**Klíčová slova:** eroze, kukuřice, úzké řádky, technologie

# Using the Technology of Narrow Rows as an Anti-Erosion Measure in Corn Cultivation

## Summary

Soil is a basic, limited and non-renewable natural resource. It is the natural wealth of each country. Therefore, soil erosion is a major problem not only in the Czech Republic, but also on a global scale. As a result of the erosion process, the stability of soil aggregates is broken; there appears loss of organic matter and nutrient transport, or land within the property or outside. These factors cause irreversible damage to soils, which ultimately has both environmental and economic impacts. As the wide-rows crops areas increase, including corn there increases even the interest of professionals and the public in that problem. At the present, there are searched new technologies of corn cultivation, which should help in elimination of risks associated with that crop cultivation.

The aim of this thesis was to analyze selected soil conservation technologies in corn crops in the company ZD Krasna Hora nad Vltavou in terms of their impact on aquatic soil erosion and biomass production. There were analyzed the technologies of tillage disc harrows soil processing, sowing directly into freezing-out crops and as a control a fallow was established. We have also analyzed two inter-rows spacing of vegetation establishment, namely 37,5 cm and 75 cm.

The results of this work show an evident positive effect of no-tillage technology of corn cultivation, whether in the narrow or wide rows that are particularly effective at the beginning of the growing season, which is the most problematic for corn. As for the yield of biomass is concerned, the highest yield of biomass was achieved in variants with the width of 75 cm and in technology of sowing into freezing-out crops.

The work also includes a literature review, which covers erosion, erosion control measures, corn and tillage systems. Special attention is paid to so-called soil-protection technologies, which are used primarily in wide-rows crops such as corn.

**Keywords:** erosion, corn, narrow rows, technology

# Obsah:

<b>1 Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Cíle práce a hypotézy .....</b>	<b>2</b>
2.1 Cíle práce .....	2
2.2 Hypotézy.....	2
<b>3 Literární řešerše.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Eroze.....</b>	<b>3</b>
3.1.1 Klasifikace eroze.....	3
3.1.2 Větrná eroze .....	4
3.1.3 Vodní eroze.....	5
<b>3.2 Protierozní opatření .....</b>	<b>9</b>
3.2.1 Organizační protierozní opatření .....	9
3.2.1.1 Velikost a tvar pozemku.....	10
3.2.1.2 Delimitace kultur, ochranné zalesnění a zatravnění.....	11
3.2.1.3 Pásové střídání plodin .....	11
3.2.2 Agrotechnická protierozní opatření .....	12
3.2.2.1 Ochranné obdělávání.....	13
3.2.2.2 Setí/sázení po vrstevnici.....	14
3.2.2.3 Hrázkování, důlkování .....	14
3.2.3 Technická protierozní opatření .....	15
3.2.3.1 Protierozní průlehy .....	16
3.2.3.2 Protierozní hrázky .....	16
3.2.3.3 Protierozní příkopy.....	16
3.2.3.4 Protierozní meze.....	17
3.2.3.5 Terasování .....	18
3.2.3.6 Protierozní nádrže .....	18
3.2.4 Opatření legislativní povahy.....	19
<b>3.3 Kukuřice.....</b>	<b>24</b>
3.3.1 Význam a původ .....	24
3.3.2 Morfologická charakteristika.....	26
3.3.2.1 Vegetativní orgány .....	26
3.3.2.2 Generativní orgány .....	27
<b>3.4 Systémy zpracování půdy .....</b>	<b>28</b>
3.4.1 Konvenční zpracování půdy .....	28
3.4.1.1 Podmítka .....	28
3.4.1.2 Orba.....	29

3.4.1.3	Předseťové zpracování půdy .....	30
3.4.2	Alternativní metody zpracování půdy.....	32
3.4.2.1	Přímý výsev do nezpracované půdy.....	32
3.4.2.2	Minimalizační technologie zpracování půdy .....	32
3.4.2.3	Ochranné zpracování půdy.....	33
3.4.2.4	Pásové zpracování půdy .....	35
<b>3.5</b>	<b>Rozteče řádků .....</b>	<b>36</b>
3.5.1	Klasické rozteče řádků.....	36
3.5.2	Alternativní rozteče řádků .....	36
3.5.3	Srovnání klasických a alternativních roztečí řádků .....	37
<b>4</b>	<b>Materiál a metodika .....</b>	<b>39</b>
4.1	Charakteristika stanoviště.....	39
4.1.1	Klimatické, meteorologické a půdní charakteristiky .....	39
4.2	Metodika pokusu.....	40
4.2.1	Popis agrotechniky pokusu .....	40
4.2.2	Varianty pokusu.....	41
4.2.3	Statistické vyhodnocení .....	41
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>42</b>
5.1	První měření .....	42
5.2	Druhé měření.....	43
5.3	Třetí měření .....	45
5.4	Výnos biomasy .....	47
<b>6</b>	<b>Diskuse.....</b>	<b>49</b>
6.1	Zpracování půdy .....	49
6.2	Zadešťování .....	50
6.3	Výnos biomasy .....	51
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>Seznam literatury .....</b>	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>Seznam zkratk .....</b>	<b>65</b>
<b>10</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>66</b>

# 1 Úvod

Nezastupitelnou roli při získávání produktů pro výrobu potravin a krmiv hraje zemědělství. S rostoucím počtem obyvatel Země se zvyšují i nároky na výnos a kvalitu zemědělských produktů při současném snižování ekonomické náročnosti dílčích technologií.

Půda, jakožto základní, omezený a neobnovitelný zdroj pro zemědělství, je přírodním bohatstvím každé země. Proto je eroze půdy celosvětově významným problémem. Vlivem erozního procesu dochází k transportu půdních částic v rámci pozemku i mimo něj, porušení stability půdních agregátů a ztrátě živin a organické hmoty. Těmito negativními jevy dochází k poškozování půdy, které je ve většině případů nevratné. To má ve svém důsledku dopady jak na životní prostředí, kde dochází k eutrofizaci vod a zvyšování rizika záplav, tak i přesah do roviny ekonomické.

Erozně ohroženy jsou všechny zemědělsky využívané plochy, ať už se jedná o pastviny, sady nebo vinice. Největšímu ohrožení je však vystavena orná půda, neboť zůstává často bez vegetačního krytu nebo jen s minimálním množstvím posklizňových zbytků v meziporostním období. K plodinám, které vykazují zvýšenou náchylnost k erozi, patří širokořádkové plodiny. Z nich je celosvětově nejvýznamnější právě kukuřice setá (*Zea mays* L.).

Proto je logické, že jsou v současné době hledány nové technologické postupy pěstování kukuřice, které by významně přispěly k eliminaci ekologických rizik. Především eliminace erozních procesů v porostech kukuřice je dnes velmi aktuální otázkou. Tato skutečnost souvisí s nárůstem osevních ploch v důsledku jejího využití při výrobě bioplynu.

Z výše uvedených skutečností vyplývá nezbytnost věnovat zvýšené úsilí hledání nových metod zpracování půdy a zakládání porostů kukuřice seté, které by napomohly k eliminaci eroze. Z těchto důvodů byly také založeny pokusy, které jsou předmětem této práce.



## **2 Cíle práce a hypotézy**

### **2.1 Cíle práce**

Diplomová práce je zaměřena na zjišťování optimálního způsobu zakládání kukuřice na siláž v podmínkách středních Čech na erozně ohrožených půdách. Z výsledků získaných zadešťováním pozemku bude možné zjistit, která ze zkoumaných technologií bude snižovat vodní erozi, která ve velké míře ohrožuje kvalitu půd v ČR. Cílem práce je porovnání navrhovaných technologií pěstování kukuřice a následné vyhodnocení jednotlivých variant při simulaci deště. V poloprovozních pokusech v průběhu vegetace se budou sledovat produkční ukazatele s kontrolní 75 cm meziřádkovou vzdáleností kukuřice.

### **2.2 Hypotézy**

1. Navrhovaná technologie založení porostu sníží vodní erozi půdy
2. Při použití úzkých řádků bude zvýšena produktivita porostu (vyšší výnos sušiny) oproti klasickým širokým řádkům

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Eroze

Půdní eroze závažným způsobem ohrožuje nejen produkční, ale i mimoprodukční funkce půd. Jedná se tak o dominantní formu degradace půdy. Představuje značné riziko pro potravinovou bezpečnost a pro životní prostředí jako celek (Pimentel, 2006). Způsobuje značné ekologické a ekonomické škody, jako jsou např. degradace a ztráta půdy, eutrofizace povrchových vod (Blanco - Canqui et Lal, 2010). Působí značné škody také v intravilánech obcí a měst. Tyto škody jsou zapříčiněny povrchovým odtokem a smyvem půdy především ze zemědělských pozemků (Vogel et al., 2016). Nezanedbatelné škody působí též eroze větrná (Janeček et al., 2002). Co si však pod pojmem “eroze“ představit?

Termín eroze půdy se začal v literatuře objevovat ve 30. a především ve 40. letech 20. století, přestože pojem eroze byl znám již dříve. Toto slovo pochází z latinského “erodere“, v překladu rozhlodávat (Brtnický et al., 2012).

Jinou definici eroze uvádí Zachar (1982), který vysvětluje pojem eroze jako narušení pedosféry (svrchní části zemské kůry) či litosféry (pod ní nacházející se horninové vrstvy). Tento jev je zapříčiněn působením exogenních činitelů, mezi které lze zařadit činitele biotické (např. rostliny, živočichové, člověk) a abiotické (např. voda, vítr, sníh, led).

Janeček et al. (2002) definuje erozi jako komplexní proces, který v sobě zahrnuje narušování povrchu půdy, transport a sedimentaci částic uvolněných působením tzv. erozních činitelů (vody, větru, ledu).

Jak uvádí Pimentel (2006), erozi lze obecně chápat jako mechanické narušování půdy působením vody, větru, či jiných destruktivních činitelů. Tímto způsobem dochází k odstranění půdních částic z povrchu půdy (Troech et al., 1991).

#### 3.1.1 Klasifikace eroze

Dělení eroze je odlišné jak v české, tak i v zahraniční literatuře. Erozi lze dle různých hledisek dělit do několika skupin.

Dle rychlosti ubývání půdy lze rozlišovat erozi geologickou a zrychlenou (Blanco - Canqui et Lal, 2010). Podle formy odtoku rozeznáváme erozi plošnou, rýžkovou, brázdovou, výmolovou, rýhovou a stržovou (MZe, 2014). Podle činitele můžeme erozi klasifikovat na

vodní (akvatickou), větrnou (eolickou), sněhovou (nivální), ledovcovou (glaciální) a antropogenní (Janeček et al., 2002).

### 3.1.2 Větrná eroze

Větrná eroze, známá také pod pojmem eolická, je přírodním jevem, při němž dochází k narušování povrchu půdy a uvolňování půdních částic. Děje se tak působením mechanické síly větru, který tyto částice přenáší na různě velkou vzdálenost (Janeček et al., 2002). K tomuto jevu dochází v okamžiku, kdy rychlost větru překročí prahovou hodnotu (Blanco - Canqui et Lal, 2010). Jak uvádí Williams et al. (1995), tato prahová hodnota je definována jako rychlost větru potřebná k oddělení částic od povrchu. Současně jde také o hodnotu, která udává náchylnost prostředí k erozi.

Erozní proces větrné eroze lze rozdělit do tří fází. V první fázi, která je nazývána abraze, dochází vlivem erozivní síly větru k rozrušování povrchu a uvolňování jednotlivých půdních částic. Tyto částice do sebe navzájem narážejí, což má za následek jejich obrušování, případně rozpad na menší částice (Blanco - Canqui et Lal, 2010).

Ve druhé fázi nazývané deflace jsou tyto částice transportovány. Tato fáze může dle Morgan (2005) probíhat ve třech formách:

- transport nejjemnějších částic půdy, které jsou ve formě suspenze
- transport půdních částic skokem (nejčastější forma přesunu půdní hmoty)
- transport částic půdy sunutím po povrchu (zejména u větších a těžších částic).

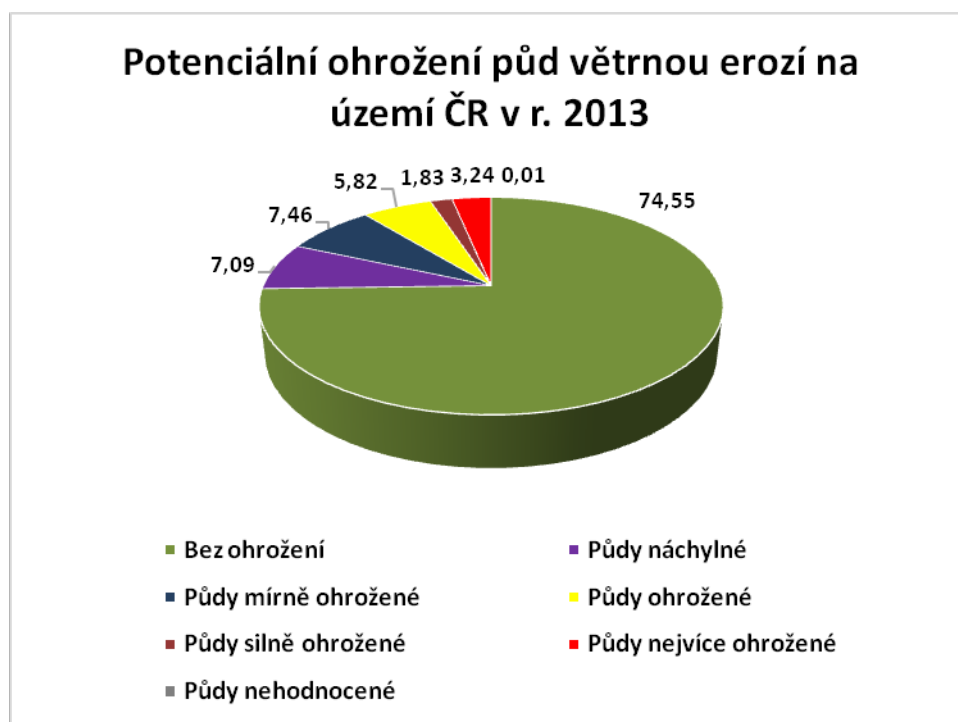
Třetí fázi představuje sedimentace (usazování) materiálu transportovaného větrem (Blanco - Canqui et Lal, 2010).

K větrné erozi dochází zejména na území, kde je počasí charakterizováno vysokou a proměnlivou rychlostí větru, nízkými srážkami, častým výskytem sucha, rychlými a extrémními změnami teplot a vysokým výparem. Tato charakteristika je typická zejména pro oblasti aridní, ale i semiaridní. Výskyt větrné eroze je spjatý také s oblastmi bez vegetačního krytu nebo s oblastmi, ve kterých je vegetační kryt vyvinut jen slabě (Dufková et Toman, 2004).

Ztráta půdy však není jediným negativním jevem spojeným s větrnou erozí. K dalším negativním efektům patří zhoršení stavu respiračních onemocnění, kontaminace vody

a potravin, rizika spojená s šířením patogenů či poškozování elektrických a mechanických zařízení (Morgan, 2005).

V podmínkách České republiky je 74,55 % půd bez ohrožení větrnou erozí. Půdy náchylné a mírně ohrožené zaujímají 14,55 %. Půd ohrožených, silně ohrožených a nejvíce ohrožených bylo dle dat VÚMOP (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd) v roce 2013 na území ČR 10,89 %, jak dokládá Graf č. 1. (VÚMOP, 2015).



**Graf č. 1. Potenciální ohrožení půd větrnou erozí na území ČR v r. 2013 (VÚMOP v. v. i., 2015)**

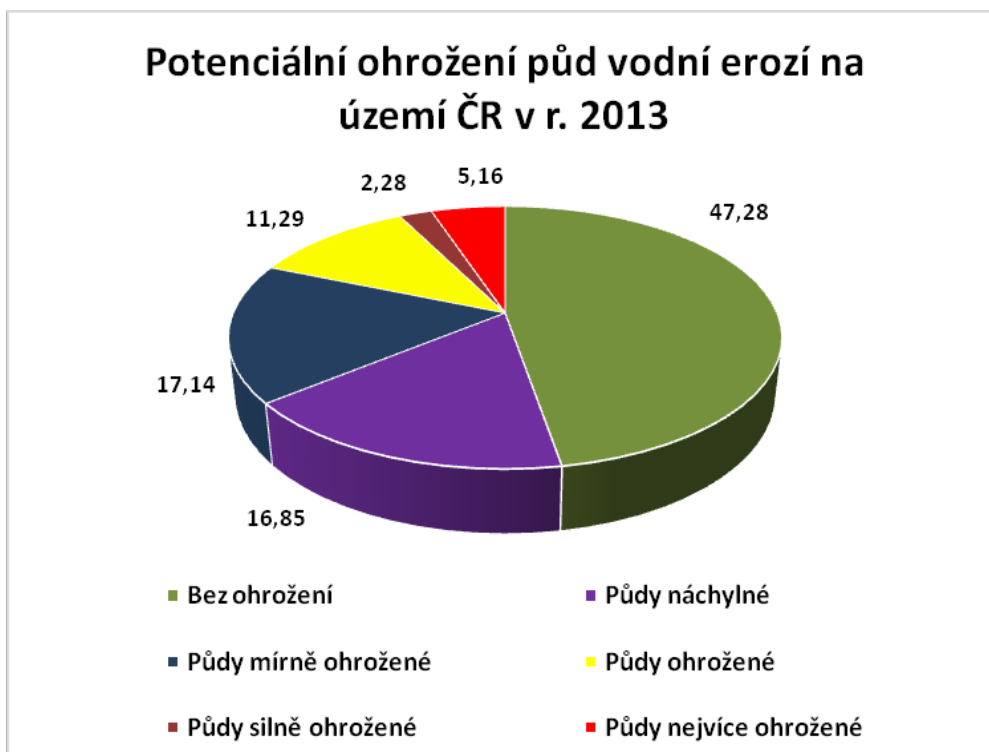
### 3.1.3 Vodní eroze

Odhaduje se, že 115 milionů hektarů půdy neboli 12 % celkové rozlohy Evropy je ohroženo vodní erozí. Ztráty způsobené vodní erozí se odhadují na zhruba 53 euro na hektar a rok (Boardman et Poesen, 2006).

Podobně jako pro erozi větrnou je i pro vodní erozi charakteristický odnos půdních částic z povrchu. Faktorem působícím erozi ale v tomto případě není vítr, nýbrž voda, a to v podobě deště, tání sněhu nebo povrchového odtoku. Působením vody dochází k odnosu nejen půdních částic, ale také organické hmoty v půdě obsažené. Tento materiál je posléze ukládán na níže položených místech na povrch půdy nebo do vodních těles. Tím způsobuje zanášení řek, jezer i umělých vodních nádrží (Blanco - Canqui et Lal, 2010).

Vodní eroze je jevem, ke kterému dochází na všech půdách a dosahuje různého stupně intenzity. Nízká intenzita eroze je v podstatě přirozenou součástí procesu tvorby půd, zatímco vysoká intenzita má negativní vliv nejen na půdu, ale i na životní prostředí jako celek (Blanco - Canqui et Lal, 2010).

V České republice bylo v roce 2013 více než 47 % půd bez ohrožení vodní erozí. Naopak zastoupení půd ohrožených, silně ohrožených a nejvíce ohrožených dosahovalo téměř 19 %. Půdy náchylné a mírně ohrožené zaujímaly takřka 34 %. Ohroženost půd vodní erozí v České republice je patrná z Grafu č. 2 (VÚMOP, 2015).



**Graf č. 2. Potenciální ohrožení půd vodní erozí na území ČR v r. 2013 (VÚMOP v. v. i., 2015)**

Samotný erozní proces je v úzké souvislosti s pohybem vody po vegetačním krytu a povrchu pozemku. Při srážkových událostech dopadá část vody přímo na povrch půdy. Zde se buď hromadí v otvorech a prohlubních na povrchu, nebo se vsakuje do půdy. To se děje působením gravitačních a kapilárních sil. Celkové množství vody, které se může vsáknout do půdy, je udáno tzv. infiltrační kapacitou půdy (Morgan, 2005).

Následně může docházet k vertikálnímu pohybu vody směrem do hlubších vrstev půdy. V takovém případě lze hovořit o hypodermickém neboli podpovrchovém odtoku. K němu dochází v případě, že voda infiltrovaná do půdy opět vyvěrá na povrch. Tím se odlišuje

od základního odtoku, na němž se podílí voda infiltrovaná až k hladině podzemní vody (Janeček et al., 2002).

Na povrchu půdy se vodní eroze projevuje tvorbou odtokových drah různých rozměrů (výmolů, rýh, rýžek). V prostoru výrazné koncentrace povrchového odtoku může docházet až k tvorbě strží. V místě terénních depresí a na lokalitách s menším sklonem obvykle dochází k deponování půdních částic. Částice, které jsou transportovány z pozemků dále, se dostávají do hydrografické sítě, ve které vytváří splaveniny. Ty mohou sedimentovat v nádržích a vodních tocích s nízkou transportní schopností (Janeček et al., 2002).

Jak uvádí Chmelová et Šarapatka (2002), k erozi svrchní vrstvy půdy dochází, pokud se jednotlivé půdní částice oddělí od větších hrud či jiných půdních agregátů. K oddělení dochází působením energie dešťových kapek. Erodatelnost půdy neboli náchylnost k erozivním silám je ovlivňována jak fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi půd (Ritz et Young, 2004; Allton, 2006; Shakesby et Doerr, 2006), tak energií erozivního činidla, např. vody či větru (Knighton, 2014), ale také sklonem či délkou svahu (Wischmeier et Smith, 1978). Důležitou roli hraje i půdní pokryv (Lal, 2001; Gyssels et al., 2005; Zhang et al., 2007).

Ohroženost zemědělských půd vodní erozí je hodnocena dle Wischmeier et Smith (1978) pomocí tzv. „Universální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí - USLE“ (Universal Soil Loss Equation). Tato rovnice vychází z principu přípustné ztráty půdy na jednotkovém pozemku. Jeho parametry jsou definovány podle standardních elementárních odtokových ploch o délce 22,13 m a sklonu 9 %, jejichž povrch je po každém přívalovém dešti kypřen ve směru sklonu svahu jako úhor bez vegetace.

Rovnice USLE, která stanoví ztrátu půdy vodní erozí, má dle Wischmeier et Smith (1978) tuto podobu:

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

kde:

- **G** je průměrná dlouhodobá ztráta půdy ( $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ ),
- **R** je faktor erozní účinnosti deště vyjádřený v závislosti na kinetické energii a intenzitě erozně nebezpečných dešťů ( $MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$ ), resp. po úpravě ( $N \cdot ha^{-1}$ ),

- **K** je faktor erodovatelnosti půdy vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a propustnosti půdního profilu ( $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot cm^{-1}$ ), resp. po úpravě ( $t \cdot N^{-1}$ ),
- **L** je faktor délky svahu vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí (bezrozměrný - poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku délky 22,13 m),
- **S** je faktor sklonu svahu vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí (bezrozměrný - poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku sklonu 9 %),
- **C** je faktor ochranného vlivu vegetace vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice (bezrozměrný - poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku s trvalým úhorem),
- **P** je faktor účinnosti protierozních opatření (bezrozměrný - poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku obdělávaném ve směru sklonu pozemku).

## 3.2 Protierozní opatření

V posledních letech se protierozní ochrana stala nezbytnou z důvodu rostoucí ekonomické aktivity společnosti, což mělo za následek zvýšený tlak na hospodárné využívání přírodních zdrojů. Hlavním úkolem, který by měla protierozní opatření plnit, je ochrana dvou nejcennějších přírodních zdrojů - vody a půdy (Holý, 1994).

Ornou půdu na svažitých pozemcích je zapotřebí chránit před účinky vodní eroze vhodnými protierozními opatřeními. Konkrétní využití jednotlivých metod je dáno požadovaným snížením smyvu půdy a nezbytnou ochranou objektů, jako jsou např. vodní zdroje (nádrže, toky atd.). Tyto metody musí respektovat zájmy uživatelů a vlastníků půdy, životního prostředí a ochrany přírody a krajiny. Zpravidla se jedná o komplex technických, agrotechnických a organizačních opatření, která se navzájem vhodně doplňují a zároveň plní požadavky zemědělské výroby (Novotný et al., 2014).

Jak konstatuje Vogel et al. (2016), kvantitativní srovnání jednotlivých protierozních opatření je na základě studií řady literárních pramenů obtížné. Jedním z důvodů je to, že jednotlivé studie byly realizovány v různých zeměpisných oblastech a za rozdílných klimatických, půdních i ekologických podmínek. Řada výzkumů se zaměřuje pouze na jednu protierozní metodu a chybí jim tedy potřebné srovnání. Proto je dle Vogel et al. (2016), vzhledem k rozmanitosti protierozních opatření, nezbytné posuzovat výhody či nevýhody jednotlivých protierozních opatření vždy v kontextu ekologických i ekonomických požadavků dané lokality. To z výběru vhodného protierozního opatření činí poměrně obtížný úkol.

### 3.2.1 Organizační protierozní opatření

Tato opatření velmi často ovlivňují i agrotechnická a technická protierozní opatření (Holý, 1994). Spolu s organizačními opatřeními jsou navrhovány i ostatní protierozní postupy, což předpokládá zainteresovanost všech hospodařících subjektů i jejich vzájemnou spolupráci (Vopravil et al., 2013).

Hůla et al. (2003) uvádí, že organizační opatření proti vodní erozi by měla vycházet z nezbytných znalostí příčin těchto jevů a měla by vést k obecným protierozním zásahům, mezi které patří:

- posunutí podmínky do doby nižších výskytů přívalových dešťů (tzn. září)
- zařazení mezíplodin setých bezorebně



- umístění plodin dle erozní ohroženosti pozemku
- výsev víceletých pícnin do krycí plodiny
- včasný výsev plodin.

Nezastupitelnou roli hraje v protierozní ochraně půdy vegetační pokryv. Jeho pozitivní vliv spočívá zejména v tom, že ochraňuje půdu před přímým dopadem kapek, napomáhá vsakování dešťové vody do půdy a v neposlední řadě také díky kořenovému systému zvyšuje soudržnost půdy a tím zvyšuje její odolnost vůči působení stékající vody (Janeček et al., 2002).

### **3.2.1.1 Velikost a tvar pozemku**

Toto opatření je často součástí komplexních pozemkových úprav, při nichž mohou být jednotlivé půdní bloky rozdělovány či spojovány (Sklenička, 2003). Změna tvaru pozemku může ovlivnit způsob obhospodařování a také zvýšit zasakování vody. Změna délky svahu může mít pozitivní vliv na snížení možné eroze (Soukup, 2008).

Velikost pozemku je ovlivňována řadou faktorů, z nichž některé působí vzájemně zcela protichůdně. Tak například tzv. přírodní faktory vedou ke snaze vytvořit menší půdní celky, zatímco ekonomické faktory upřednostňují spíše velké pozemky (Dumbrovský et Milerski, 2005).

V ČSSR došlo ve 20. století díky intenzifikaci zemědělské výroby k hromadnému scelování pozemků. Byly tak vytvořeny rozsáhlé půdní bloky, které proces eroze podporují. Navíc došlo při scelování k rušení hydrografických a krajinných prvků, jako byly např. meze, polní cesty, zatravněné údolnice, rozptýlená zeleň. Právě tyto krajinné prvky přitom zrychlenou erozi poměrně účinně omezovaly (Švehla et Vaňous, 1995).

Z pohledu protierozní ochrany je nezbytné, aby rozměry pozemků ve směru sklonu nepřesahovaly maximální přípustnou délku (vypočtenou např. dle Universální rovnice ztráty půdy - USLE) a aby i délka odtokové linie procházející přes více půdních bloků nepřesahovala maximální přípustnou délku (Janeček et al., 2002).

### 3.2.1.2 Delimitace kultur, ochranné zalesnění a zatravnění

Delimitace kultur představuje metodu optimálního prostorového a funkčního využití pozemků pro pěstování jednotlivých plodin. V rámci delimitace je půdní fond členěn na ornou půdu, louky, pastviny, zahrady, chmelnice, vinice. Při protierozní ochraně půdy spočívá vhodné umístění pěstovaných plodin především v pěstování erozně nebezpečných plodin na neohrožených nebo jen mírně ohrožených pozemcích (Holý, 1994).

Zalesnění může být využito jako jeden ze způsobů ke snížení eroze a uchování půdy na pozemku. Navíc pozitivně působí na zlepšení přírodních podmínek tím, že stabilizuje strmé svahy, zvyšuje obsah organického uhlíku v ornici a umožňuje sekundární sukcesi narušených lokalit (Zhou et al., 2006; Nyamadzawo et al., 2008).

Ochranné zatravnění je využíváno zejména tam, kde z důvodu ztrát půdy erozí nelze pozemek využívat jako ornou půdu. Dobře zapojený travní porost je výbornou ochranou také pro vegetační zpevnění liniových prvků. Ochranný travní porost zvyšuje heterogenitu povrchu a přispívá k zachycení erodované půdy i ke zpomalení povrchového odtoku (Novotný et al., 2014). Pro vytvoření kvalitního vegetačního krytu jsou nejvhodnější zejména výběžkaté trávy, které vytváří pevný drn (Vopravil et al., 2013).

Právě vegetace je důležitým faktorem při eliminaci eroze půdy, neboť snižuje energii srážek, zvyšuje infiltrační schopnost půdy a snižuje povrchový odtok (Zhou et al., 2006). Zhao et al. (2015) prokázal, že právě vegetační kryt výrazně přispívá ke snižování eroze.

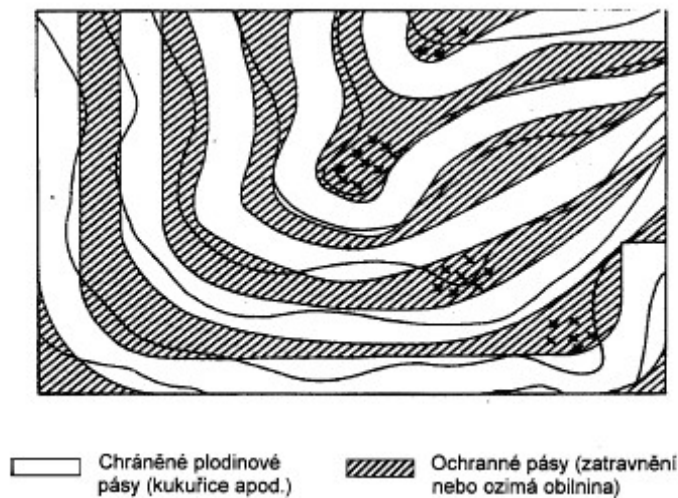
### 3.2.1.3 Pásové střídání plodin

Podstatou pásového střídání plodin je rozdělení pozemku na několik pásů, které jsou orientovány po vrstevnici. Střídají se pásy erozně odolných plodin (např. jetel, vojtěška, travní porosty, případně ozimá obilnina) s pásy plodin erozně náchylnějších (okopaniny, kukuřice). Šířka pásů závisí na délce a sklonu svahu. Je doporučována šířka pásů od 20 do 40 m, počet pásů je odvislý od délky svahu (Soukup, 2008). Pásové střídání plodin může dle Volk et al. (2010) také snižovat transport sedimentů do říčních systémů, neboť vegetační pásy erozně odolných plodin mohou zachytit značnou část erodovaného materiálu.

Dle Hůly et al. (2003) je vliv plodin na povrchový odtok následující: přívalová srážka způsobující na úhuru odtok  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , se v porostech širokořádkových plodin projeví povrchovým odtokem  $46 - 66 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , v úzkořádkových plodinách  $32 - 38 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ,

v porostech víceletých pícnin odtokem  $7 - 29 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  a na dobře odvodněné louce jen  $0 - 7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Při využití vrstevnicového obdělávání klesne povrchový odtok v porostech širokořádkových plodin na  $31 - 48 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , v úzkořádkových plodinách na  $18 - 27 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  a ve víceletých pícninách na  $2 - 21 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Pásové střídání plodin snižuje povrchový odtok z širokořádkových plodin na  $25 - 42 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  a z úzkořádkových na  $17 - 23 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Uspořádání vrstevnicových pásů by mělo být takové, že mezi stejně široké pásy plodin s nízkým protierozním účinkem jsou umísťovány nestejně široké pásy plodin s protierozním účinkem (Morgan, 2005). Příklad pásového střídání plodin je uveden na Obr. č. 1.



Obr. č. 1 Pásové střídání plodin (Janeček et al., 2002)

### 3.2.2 Agrotechnická protierozní opatření

Eroze půdy může být do značné míry ovlivňována způsobem obhospodařování (Cerdà et al., 2009). Agrotechnická protierozní opatření mají za cíl pozitivně působit na faktory určující rozsah vodní eroze prostřednictvím vhodných agrotechnických zásahů, které jsou prováděny samotnými zemědělci (Deumlich et al., 2006; Blanco - Canqui et Lal, 2010; Mekonnen et al., 2015).

Nejnáchylnější k erozi je půda bez vegetačního krytu. Účelem agrotechnických protierozních opatření je proto především zkrácení doby, po kterou je půda ponechána bez vegetačního pokryvu. Jako protierozní opatření lze záměrně využívat posklizňové zbytky plodin a biomasu meziplodin (Janeček et al., 2002).

Agrotechnická protierozní opatření snižují erodovatelnost půdy, zvyšují její vsakovací schopnost a především chrání povrch půdy v období největšího výskytu přívalových srážek (červen, červenec, srpen). V tomto období jsou zejména širokořádkové plodiny erozně nejvíce ohroženy (Vopravil et al., 2013).

Okopaniny (brambory, cukrová řepa), kukuřice a slunečnice vykazují nedostatečnou pokrývnost povrchu půdy v první třetině období výskytu přívalových dešťů. S ohledem na velkou výměru orné půdy, která je každoročně osévána kukuřicí, je aplikace vhodných agrotechnických opatření obzvláště důležitá (Novotný et al., 2014).

V poslední třetině období, ve kterém dochází k přívalovým dešťům, jsou erozně ohroženy hlavně pozemky připravené pro výsev ozimé řepky. V tomto případě je vhodným agrotechnickým protierozním opatřením ponechání většího množství posklizňových zbytků na pozemku (Janeček et al., 2002).

K velmi účinným protierozním opatřením lze řadit také technologie ochranného zpracování půdy. Tyto metody využívají namísto konvenčních alternativní způsoby zpracování půdy (Hůla et al., 2003).

Mezi agrotechnická protierozní opatření řadíme dle Novotného et al. (2014):

- ochranné obdělávání (setí/sázení do mulče, setí do ochranné plodiny, bezorebné setí, ...)
- pásové zpracování půdy
- setí/sázení po vrstevnici
- hrázkování, důlkování.

### **3.2.2.1 Ochranné obdělávání**

Základem technologie ochranného obdělávání (Conservation tillage) je ponechání co největšího množství posklizňových zbytků na povrchu půdy a omezení narušování půdního profilu tak, aby se zabránilo příliš rychlé mineralizaci živin a tím ochuzování půdy o humus, což má za následek zhoršující se fyzikální vlastnosti půdy (Brtnický et al., 2012).

Charakteristickým znakem ochranného obdělávání je dle Baker et al. (1996) pokrytí nejméně 30 % povrchu půdy rostlinnými zbytky z předplodin či meziplodin, které tvoří vrstvu mulče.

Hanna et al. (1995) uvádí, že při pokrytí 20 - 30 % půdy mulčem v době setí dojde ke snížení eroze o 50 - 90 % v porovnání s povrchem půdy bez rostlinných zbytků.

Míra ochranného vlivu se obecně odvíjí od způsobu zpracování půdy, stupně pokrytí půdy mulčem a horizontálního a vertikálního rozmístění mulče po ploše pozemku. Podstatou všech těchto metod je to, že zachycují kinetickou energii dopadajících dešťových kapek, čímž přispívají k omezení eroze půdních agregátů. Omezují také zaplňování nekapilárních pórů rozrušenými půdními částicemi, které neumožňují dobrý vsak dešťové vody (Hůla et al., 2005).

Existuje řada způsobů zpracování půdy, které umožňují ponechání podstatné části rostlinných zbytků na povrchu půdy (Brady et Weil, 2002). Mezi tyto technologie lze řadit například bezorebné setí, setí do mělké podmítky, setí/sázení do mulče, setí do ochranné podplodiny (Vopravil et al., 2013).

Při využití ochranného obdělávání po více let lze dle Hůly et al. (2008) předpokládat, že kromě ochranné funkce mulče dojde v průběhu let ke zvýšení stability půdních agregátů a vytvoří se tak stabilní systém svislých makropórů, který umožní transport vody z povrchu půdy do hlubších vrstev půdního profilu.

### **3.2.2.2 Setí/sázení po vrstevnici**

Při využití vrstevnicového zpracování půdy probíhá příprava půdy i setí souběžně s vrstevnicemi. Půda je překlopena proti svahu a je tak možno docílit protierozní ochrany zejména před tzv. „erozí orbou“ (Brtnický et al., 2012). Tímto způsobem dojde ke snížení energie, kterou má voda potenciálně k odpoutání půdních částic, což má pozitivní vliv na snižování eroze (Bodnár et al., 2007). Toto agrotechnické protierozní opatření je však efektivní především pro slabé erozivní srážky. Při extrémních srážkových událostech dochází k zhroucení brázd a sadby řádků a ke vzniku drážkové i rýhové eroze (Janeček et al., 2002).

### **3.2.2.3 Hrázkování, důlkování**

Hrázkování se uplatňuje především při pěstování brambor ale i kukuřice a je založeno na vytvoření ochranných hrázek v meziřadí hrůbků. Pomocí speciálního stroje (hrázkovače) jsou ve stejných vzdálenostech zakládány hrázky mezi jednotlivými hrůbků, díky čemuž vzniká řada malých akumulacních příkopů, které zabraňují soustředěnému povrchovému odtoku

a napomáhají zadržení vody na pozemku. Hrázkování se obvykle uplatňuje na svazích do 7 ° sklonitosti a maximální délky svahu 300 m (Dumbrovský et Milerski, 2005).

Technologii důlkování lze využít podobně jako hrázkování zejména u brambor jen s tím rozdílem, že namísto hrázek jsou vytvářeny důlky. Ty jsou tvořeny v meziřadí ve vzdálenosti 30 - 40 cm. Důlky snižují povrchový odtok a naopak zvyšují infiltraci vody (Novotný et al., 2014).

### **3.2.3 Technická protierozní opatření**

Technická protierozní opatření jsou obvykle navrhována po vyčerpání ostatních výše uvedených možností protierozní ochrany, neboť jsou často technicky i finančně náročnější. Využívají se také na pozemcích, na kterých nepříznivé vlivy povrchového odtoku ohrožují intravilán obce. Účinek těchto opatření se zvyšuje v kombinaci s vhodnými agrotechnickými a organizačními opatřeními. Kvalitním návrhem prostorového rozmístění prvků technických protierozních opatření je možno dosáhnout snížení hodnoty faktoru L (délky svahu). Rozčlenění svahu liniovými záchytnými prvky pak umožňuje do vymezených pásů umístit různé plodiny, což vede ke snížení hodnoty faktoru C (ochranného vlivu vegetace) (Sklenička, 2003).

Spolu se zmiňovanými funkcemi mají protierozní opatření doplněná liniovou zelení i funkci krajinně estetickou a ekologickou (Janeček et al., 2002).

K technickým protierozním opatřením patří:

- průlehy
- hrázky
- příkopy
- meze
- terasování
- nádrže.

### **3.2.3.1 Protierozní průlehy**

Účinnost tohoto opatření spočívá ve snížení faktoru L (délky svahu), zvýšení akumulární a vsakovací schopnosti povrchu půdy, v důsledku čehož dochází ke zpomalení povrchového odtoku (Podhrázká et Dufková, 2005).

Protierozní průlehy je mělký, široký příkop se sklonem svahů 1:5, který rozdělí dlouhý svah na několik dílčích menších svahů. Povrchová voda je tak díky nim zachycována a neškodně odváděna (Janeček et al., 2002). Průlehy jsou budovány po vrstevnicích (v případě většího množství průlehy na jedné ploše jsou tyto vůči sobě rovnoběžné). Obvykle jsou navrhovány zatravněné, ale lze využít i polovegetační zpevnění (Dufková, 2007).

Dle funkce lze protierozní průlehy rozdělit na záchytné, které zabraňují přítoku vody z výše ležících ploch. Dále průlehy sběrné, které přerušují povrchový odtok uvnitř pozemku. Průlehy vsakovací, jež mají nulový či jen velmi malý podélný sklon a jsou vhodné pouze pro propustné půdy. Poslední typem jsou průlehy svodné, jejichž úkolem je odvedení odtoku ze záchytných a sběrných průlehy při jarním tání sněhu nebo při krátkodobě trvajících přívalových deštích (Soukup, 2008).

### **3.2.3.2 Protierozní hrázky**

Hrázky jsou budovány na pozemcích ve směru vrstevnic a na úpatí svahů zemědělských pozemků za účelem ochrany důležitých objektů (obcí, komunikací) před zatopením vodou z přívalových srážek a zanesením erozními smyvy. Výška hrázky a prostor před ní musí vyhovovat potřebě retence vody včetně předpokládaného objemu erozních smyvů. Je nezbytné, aby byly hrázky vybaveny vypouštěcím zařízením, které umožní odtok vody po usazení sedimentů v prostoru před hrázkou. Ochranné hrázky se využívají tam, kde by vlivem malého sklonu docházelo k zanášení příkopů a průlehy nebo místo málo účinných vrstevnicových mezí (Janeček et al., 2002).

### **3.2.3.3 Protierozní příkopy**

Protierozním příkopem se rozumí uměle vytvořené otevřené koryto, které slouží k dočasnému zadržování a následnému odvádění povrchové vody (Dumbrovský et Milerski, 2005). Jedná se o liniové prvky, které jsou umístěny v místě nutného přerušování svahu. Lze je kombinovat

s dalšími liniovými prvky (cestou, mezí, biokoridorem). Příkop je orientován ve směru vrstevnic s mírným podélným sklonem (Vopravil et al., 2013).

Hlavní úkol tohoto protierozního opatření spočívá v bezpečném odvedení povrchové vody, aniž by tato voda ohrozila např. intravilán obcí, významné objekty či území. Příkopy jsou konstruovány jako záchytné objekty pro zachycení povrchových vod uvnitř plochy nebo jako nástroj pro bezpečné odvedení přebytečné vody. Stávají se tak součástí již existující hydrologické sítě v území (Dufková, 2007). Důležitou roli při zachování funkčnosti tohoto opatření hraje pravidelné odstraňování sedimentů, které jsou v příkopu zachyceny (Taye et al., 2015).

Dle Janečka et al. (2002) lze příkopy rozdělit na záchytné a svodné. Záchytné příkopy se budují nad zájmovým územím a zabraňují přítoku vnějších vod na pozemek. Svodné příkopy slouží k odvádění odtoku a transportu splavenin. Do svodného příkopu může ústít i několik příkopů sběrných.

#### **3.2.3.4 Protierozní meze**

Meze vznikaly historicky na hranicích pozemků, kam byly ukládány kameny. Vlivem orby podél vrstevnic docházelo k dlouhodobému posunu půdy směrem dolů po svahu. To zapříčinilo vznik vrstevnicově orientovaného terénního stupně často 1,5 - 2 m vysokého. Funkce takto vzniklé meze tak byla převážně ve snižování podélného sklonu svahu (spíše se blížila funkci teras). Tento typ mezí v současnosti není možné navrhovat ani realizovat (Vopravil et al., 2013).

Dnes jsou meze projektovány jako trvalá překážka rozptylující povrchový odtok. Meze se skládají z tělesa meze, zasakovacího pásu nad konstrukcí a odváděcích prvků. Jsou budovány po vrstevnicích či s mírným odklonem. Usazováním splavenin by mělo postupně docházet k přirozenému zvyšování mezí a snižování sklonu území nad nimi (Dufková, 2007). V rovnici pro stanovení ztráty půdy vodní erozí (USLE) se toto opatření projeví jako změna faktoru L (Bosch et al., 2006).

Protierozní meze se častěji navrhuje s průlehy na spodní či vrchní části. Jako protierozní opatření jsou navrhovány v rámci pozemkových úprav (Dumbrovský et Milerski, 2005). Zeleň, která na mezích často roste, může fungovat také jako biokoridor či biocentrum, tedy součást lokálního ÚSES (územní systém ekologické stability) (Podhrázská et Dufková, 2005).



### 3.2.3.5 Terasování

Terasy umožňují využívat i pozemky, které by kvůli velké sklonitosti a členitosti byly jinak jen obtížně obhospodařovatelné. Na svažitéch pozemcích přispívají terénními stupni ke snížení sklonu a k lepšímu využití mechanizace. Rozdělují také svah na úseky, které snižují erozní účinek povrchového odtoku (Janeček et al., 2002). Při realizaci teras je nutné si uvědomit, že se jedná o značný zásah do krajiny, který může narušit přirozené ekologické podmínky. Proto je možné využít terasování pouze v nejnútnejším rozsahu a je třeba respektovat alespoň částečně přirozeného terénu a krajinného rázu (Kvítek et Tipl, 2003).

Terasy je vhodné budovat zejména na svažitéjších zemědělsky obhospodařovaných pozemcích jako např. na vinicích nebo sadech, u kterých je vyšší riziko erozního ohrožení. Jak uvádí Bazzofi et Gardin (2011), na pozemku s ornou půdou, kde se nacházely plně funkční terasy, dosahovala roční ztráta půdy hodnoty  $8,8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , zatímco na pozemku bez teras bylo dosaženo hodnoty  $65,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  za rok.

V praxi je možno terasy navrhovat pouze na hlubokých půdách a jejich vznik je reálný pouze tam, kde dodává krajině její osobitý ráz, nebo tam, kde se jedná o produkci zvláštních plodin jako např. vinné révy, ovocných sadů atp. V současnosti se terasování využívá díky své extrémní finanční náročnosti pouze v ojedinělých případech (Vopravil et al., 2013).

### 3.2.3.6 Protierozní nádrže

Jedná se o nejvyšší formu ochrany intravilánu a infrastruktury před negativními následky povrchového odtoku z pozemků a transportu smyté zeminy. Obvykle jsou navrhovány jako suché, bez trvalého zadržení vody (Vopravil et al., 2013). V rámci společných zařízení pozemkových úprav tvoří závěrečný prvek systému protierozní a protipovodňové ochrany. Důležitou podmínkou pro realizaci tohoto opatření jsou vhodné geologické a geomorfologické podmínky (Janeček et al., 2002).

Protierozní nádrže lze považovat za velmi účinný protierozní prostředek, který reguluje odtok vody a zachycuje transportované splaveniny. Jejich výstavba je realizována zejména v oblastech, ve kterých dochází k transportu splavenin do vod využívaných pro vodárenské účely. Jako velmi vhodné a ekonomicky příznivé varianty protierozních nádrží jsou využívány především tzv. suché poldry (Dumbrovský et Millerski, 2005).

Nádrže musí odpovídat požadavkům normy na malé vodní nádrže nebo suché nádrže. Dále je nezbytně nutné jejich správné dimenzování dle míry ochrany. Zpravidla se jedná o odtok ze srážek s opakováním 20 - 50 let, v opodstatněných případech 100 let (Dufková, 2007).

Všeobecně je účel protierozních nádrží dvojitý. V první řadě je to transformace povodňové vlny a dále také zachycení smyté zeminy (Vopravil et al., 2013).

### 3.2.4 Opatření legislativní povahy

Další možnost, jak bojovat proti erozi půd, představují opatření legislativní povahy jako např. zákony či standardy, které jsou důležitým předpokladem pro realizaci konkrétních opatření (Virto et al., 2014). V evropském měřítku představuje eroze jedno z témat, kterým je věnována značná pozornost. Problematika eroze je řešena v Tematické strategii pro ochranu půdy, kterou vydala Evropská komise (Verheijen et al., 2009).

Systematickým nástrojem ochrany půd, který v sobě zahrnuje jak prvky teoretické, tak praktické, jsou Standardy DZES (dobrý zemědělský a environmentální stav) dříve GAEC (z anglického označení - *Good Agricultural and Environmental Conditions* - dobrý zemědělský a environmentální stav). Jejich dodržování je jednou z podmínek poskytnutí plné výše přímých podpor. Tyto standardy jsou upraveny následujícími předpisy EU:

- Nařízení komise č. 1122/2009
- Nařízení Rady č. 73/2009.

Do české legislativy jsou tyto předpisy implementovány Nařízením vlády č. 309/2014 Sb., o stanovení důsledků porušení podmíněnosti poskytování některých zemědělských podpor.

Standardy DZES zajišťují, aby zemědělské hospodaření bylo v souladu s ochranou životního prostředí, a jsou součástí Kontroly podmíněnosti (*Cross Compliance*). Kontrolu dodržování standardů DZES dříve známých pod zkratkou GAEC provádí Státní zemědělský intervenční fond (SZIF). Kontrolu DZES 1 (ochranné pásy podél vod) a DZES 3 (ochrana podzemních vod) zajišťuje Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ). V rámci kontrol je ověřován aktuální stav v terénu na veškeré zemědělské půdě obhospodařované žadatelem, kterou má žadatel povinně evidovanu v LPIS (*Land Parcel Identification System* - Identifikační systém půdních bloků/registr půdních bloků) (MZe, 2015).

V letech 2005 - 2009 platilo v ČR 5 standardů DZES (GAEC). Konkrétně se jednalo o tyto standardy:

- Zákaz pěstování kukuřice, brambor, řepy, bobu setého, sóji a slunečnice na půdních blocích nebo jejich dílech s průměrnou sklonitostí nad 12 °
- Zapravování kejdy či močůvky na půdních blocích nebo jejich dílech s ornou půdou o průměrné sklonitosti nad 3 ° do 24 hodin či použití hadicových aplikátorů k jejich aplikaci
- Zákaz rušení nebo narušování krajinných prvků (meze, terasy, skupiny dřevin, stromořadí a travnaté údolnice)
- Zákaz pálení rostlinných (bylinných) zbytků na půdních blocích či jejich dílech
- Zákaz změny kultury travní porost na kulturu orná půda.

V letech 2009 - 2014 byly standardy DZES (GAEC) individuálně definovány jednotlivými členskými státy EU na základě rámce uvedeného v příloze III Nařízení Rady č. 73/2009. Od 1. 1. 2010 bylo v ČR uplatňováno 10 standardů DZES (GAEC). 1. ledna 2012 pak přibyl DZES (GAEC) č. 11. Tyto standardy pokrývaly 5 tematických okruhů (struktura půdy, eroze půdy, ochrana vody a hospodaření s ní, minimální úroveň péče, organické složky půdy). V rámci ČR byly definovány nařízením vlády č. 479/2009 Sb. V roce 2014 byly požadavky SMR 2 (*Statutory Management Requirements* - Povinné požadavky na hospodaření) - ochrana podzemních vod před znečištěním nebezpečnými látkami, převedeny mezi standardy DZES (GAEC) jako č. 12 (MZe, 2015).

Od roku 2015 došlo v souvislosti s novým programovacím obdobím Společné zemědělské politiky 2014 - 2020 v podmínkách standardů k řadě změn. V současnosti jsou podmínky pro zachování dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy řešeny v rámci následujících sedmi standardů (MZe, 2015):

- DZES 1: Dodržení ochranných pásů podél vodních toků
- DZES 2: Povolení pro užívání zavlažovacích soustav
- DZES 3: Ochrana podzemních vod proti znečištění
- DZES 4: Minimální pokryv půdy
- DZES 5: Minimální úroveň obhospodařování půdy k omezování eroze

- DZES 6: Zachování úrovně organických složek půdy, včetně zákazu vypalování strnišť
- DZES 7: Zachování krajinných prvků, ořez stromů a opatření proti invazivním druhům rostlin.

Protierozní ochrany půdy se týkají zejména DZES 4 a DZES 5:

#### **DZES 4: Minimální pokryv půdy**

Podmínky se vztahují na DPB (díly půdních bloků) s kulturou standardní orná půda a s průměrnou sklonitostí přesahující 5 °. Tento standard stanovuje požadavky pro zachování minimálního pokryvu půdy na DPB převyšující 5 ° průměrné sklonitosti. Plnění tohoto standardu je možno např. zachováním strniště včetně podmítnutého nebo založením porostu ozimů nebo meziplodin a následně provedení případné jarní orby. Další možností je realizace podzimní orby v libovolné zemědělcem zvolené hloubce včetně hluboké orby a ponechání tohoto stavu až do jarního období.

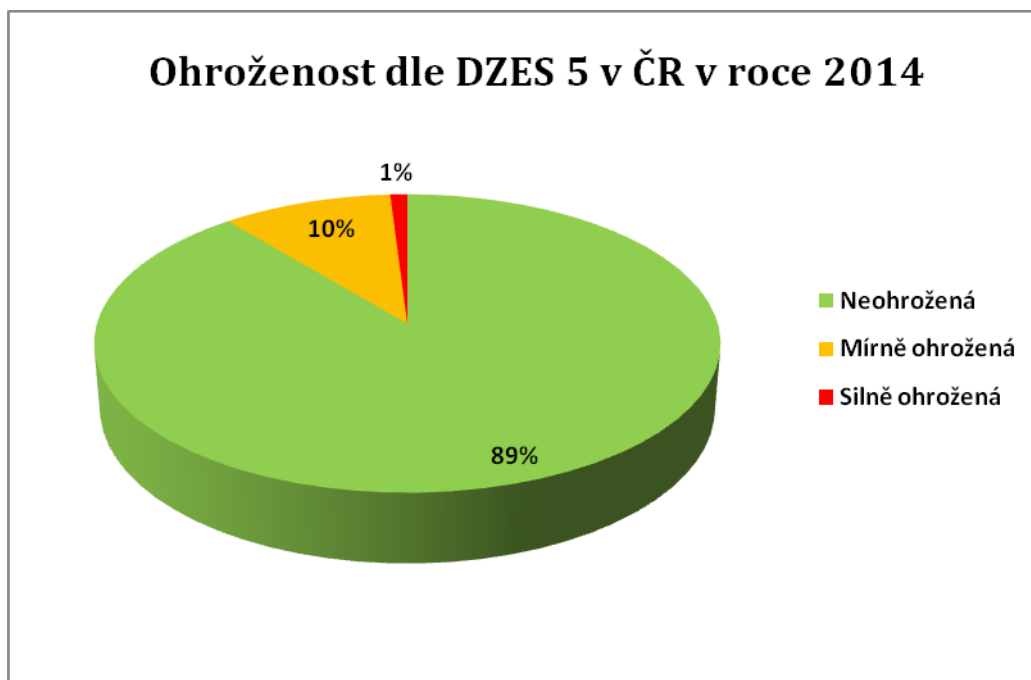
Cílem tohoto standardu je především prostřednictvím pokryvu i v mimovegetačním období zamezit ztrátám půdy a půdní vlhkosti. Při využití meziplodin je vhodné ponechat porost minimálně do 15. 2. následujícího roku. Plochy oseté meziplodinami lze také započítat do ploch v ekologickém zájmu (EFA - *Ecological Focus Area*) (MZe, 2015).

#### **DZES 5: Minimální úroveň obhospodařování půdy k omezování eroze**

Podmínky se vztahují na DPB veškeré zemědělské půdy, která je v LPIS označena jako půda silně erozně ohrožená (SEO) nebo mírně erozně ohrožená (MEO).

Cílem standardu je ochrana půdy před erozí i předcházení následkům eroze jako např. zaplavení komunikací a dalších staveb splavenou půdou. DZES 5 upravuje podmínky pro pěstování tzv. erozně nebezpečných plodin na silně erozně ohrožené (SEO) nebo mírně erozně ohrožené (MEO) půdě. Na základě výzkumné činnosti VÚMOP byla vytvořena mapová vrstva erozní ohroženosti. Tato vrstva je dostupná v LPIS, kde slouží jednak pro potřeby samotných farmářů, jednak pro potřeby státní správy (MZe, 2015).

Ohroženost půd v ČR dle DZES 5 je znázorněna na Grafu č. 3. Z něj je patrné, že 89 % půd je dle DZES 5 klasifikováno jako půdy erozně neohrožené. Mírně ohroženo je 10 % půd a 1 % půd je ohroženo silně (VÚMOP, 2015).



**Graf č. 3. Ohroženost půd v ČR dle DZES 5 ČR v r. 2014 (VÚMOP v. v. i., 2015)**

Dle DZES 5 je žadatel povinen:

- a) Zajistit, že se na silně erozně ohrožené půdě nebudou pěstovat erozně nebezpečné plodiny: kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok; porosty ostatních obilnin a řepky olejně budou na takto označené ploše zakládány s využitím půdoochranných technologií. V případě ostatních obilnin nemusí být dodržena podmínka půdoochranných technologií při zakládání porostů pouze v případě, že budou pěstovány s podsevem jetelovin, travních nebo jetelotravních směsí.
- b) Zajistit, že se na mírně erozně ohrožené půdě erozně nebezpečné plodiny: kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok budou zakládat pouze s využitím půdoochranných technologií (MZe, 2015).

Obecné půdoochranné technologie lze uplatnit na SEO i MEO plochách. Jedná se o následující technologie (MZe, 2015):

- setí/sázení do mělké podmítky s ponecháním části rostlinných zbytků na povrchu půdy
- setí/sázení do ochranné plodiny (např. do vymrzající meziplodiny - svazanka vrtičolistá, hořčice bílá)

- setí/sázení do mulče
- bezorebné setí/sázení (technologie přímého setí do nezpracované půdy).

Na MEO plochách je možné využít tzv. specifických půdoochranných technologií. K těmto technologiím dle MZe (2015) patří:

- osetí souvratí
- přerušovací pásy
- zasakovací pásy
- podryívání u cukrové řepy
- pěstování luskoobilných směsí (LOS)
- setí/sázení po vrstevnici
- důlkování a hrázkování
- pásové zpracování půdy (strip-till)
- pěstování kukuřice s šířkou řádku do 45 cm bezorebným způsobem
- odkameňování.

## 3.3 Kukuřice

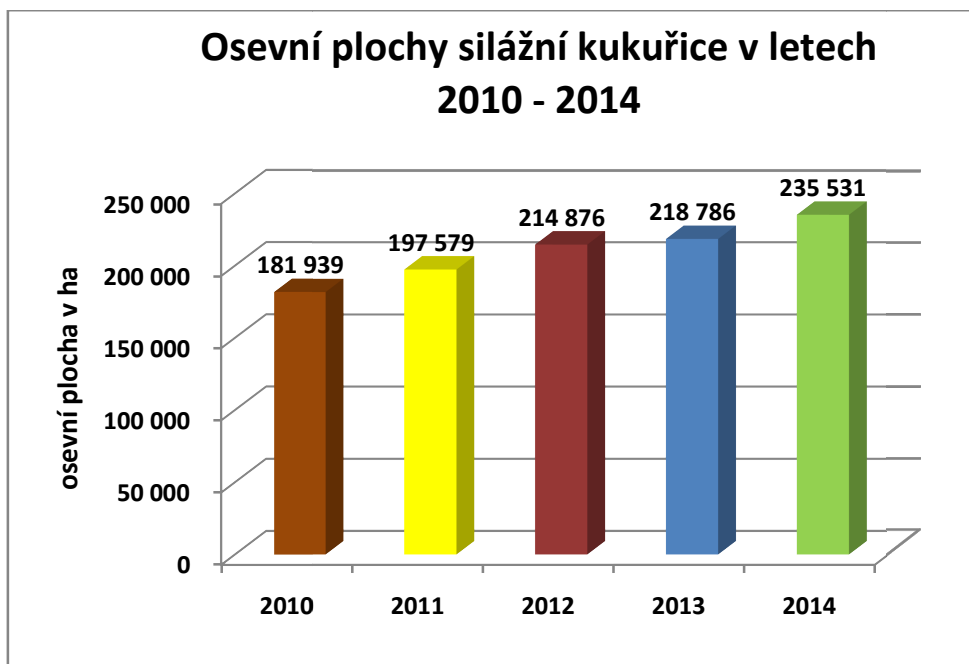
### 3.3.1 Význam a původ

Kukuřice setá (*Zea mays* L.) je dnes pěstována v pěti světadílech a spolu s pšenicí a rýží je nejdůležitější obilninou v lidské výživě. Kromě toho je také významnou krmnou, energetickou a průmyslovou plodinou. Při porovnání osevních ploch, celkové sklizně a výnosů zmiňovaných tří nejvýznamnějších obilnin světa vyplývá, že kukuřice je nejen nejproduktivnější plodinou, ale také disponuje nejlepšími předpoklady pro další růst výnosů (Zimolka, 2008).

Původ kulturní kukuřice není zcela objasněn. Z dosavadních archeologických nálezů lze jako oblasti původu kukuřice označit tropické a subtropické oblasti Jižní a Střední Ameriky (Zimolka, 2008). Zde se na náhorních plošinách zřejmě začala kukuřice pěstovat jako kulturní plodina (Šuk et al., 1998). Nejpravděpodobnějšími centry domestikace kukuřice byly Mexiko a Peru. Do Evropy a ostatních světadílů se kukuřice dostala po objevení Ameriky (1492). Do střední Evropy se rozšířila patrně z Balkánu (Rebourg et al., 2003). U nás se rozvoj pěstování kukuřice datuje na počátek 20. století a je spojen především se zaváděním hybridního osiva (Zimolka, 2008).

V posledních letech stoupá význam jak kukuřice pěstované na zrno, tak zejména význam silážní kukuřice. Ta je jednou z nejvýznamnějších jednoletých krmných plodin, které jsou pěstovány na orné půdě (Fuksa et al., 2004). Je také zdrojem objemného krmiva bohatého na energii, které má důležitou roli v celoroční výživě skotu, a často tvoří až 50 % sušiny krmné dávky skotu. Optimální obsah sušiny se u silážní kukuřice pohybuje v rozmezí 28 - 34 %. Díky obsahu dostatečného množství vodorozpustných sacharidů (15 - 30 % v 1 kg sušiny) a nízké pufrační kapacitě patří silážní kukuřice ke snadno silážovatelným krmivům (Doležal et Zeman, 2008).

Výše zmiňované důvody vedou i v České republice k růstu osevních ploch. Dle ČSÚ (2015) dochází v posledních pěti letech k pravidelnému nárůstu osevních ploch silážní kukuřice, jak je patrné z Grafu č. 4.

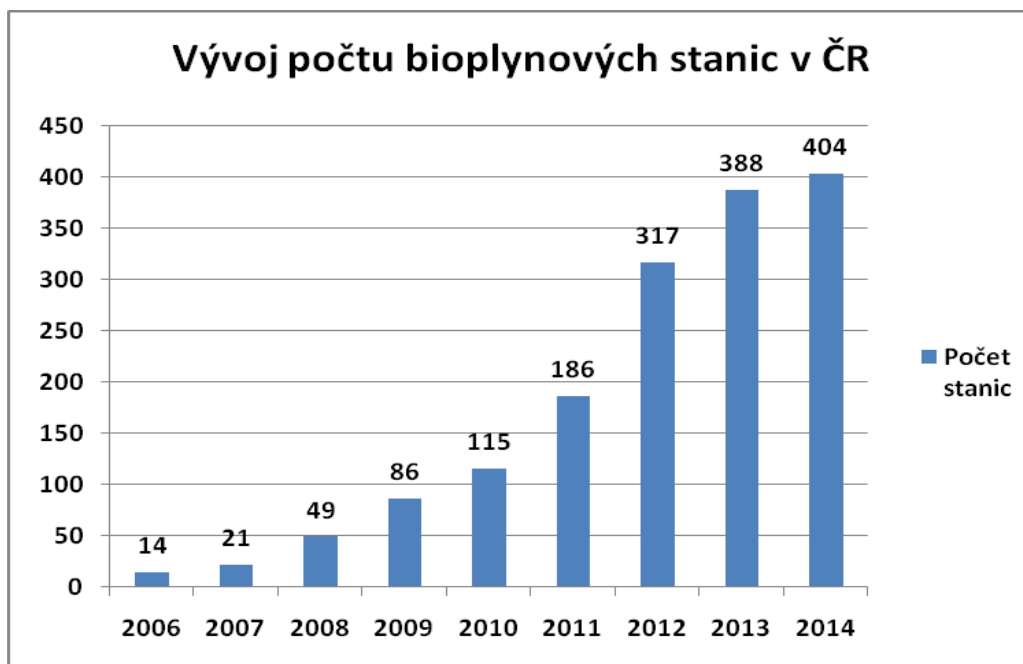


**Graf č. 4. Osevní plochy silážní kukuřice v letech 2010 - 2014 (ČSÚ, 2015)**

V důsledku rostoucího počtu bioplynových stanic stoupá i význam kukuřice jako významné energetické plodiny (Vogel et al., 2016). Využití kukuřice k energetickým účelům je jedním ze způsobů, kterým může zemědělství přispívat ke snížení emisí skleníkových plynů (Sims et al., 2006). Právě energie z biomasy patří dle Field et al. (2008) mezi nejslibnější a nejvíce medializované obnovitelné zdroje a má tak potenciál ke zvýšení energetické soběstačnosti i v oblastech bez ložisek fosilních paliv. Větší využití energie z biomasy s sebou však také přináší rizika, mezi která patří vedle eroze také kontaminace vodních toků hnojiv a pesticidy nebo zvyšování emisí uhlíku v důsledku odlesňování ploch pro pěstování energetických plodin (Field et al., 2008).

Největším producentem bioplynu v rámci EU, který zároveň disponuje i největším počtem bioplynových stanic, je v současné době Německo. I zde hraje kukuřice dominantní roli jako zdroj energie pro bioplynové stanice. Kromě kukuřice lze využít i další plodiny jako např. řepku, slunečnici, čirok, triticales nebo žito (Vogel et al., 2016). Také v ČR lze dle dat Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO, 2016) sledovat trend růstu počtu bioplynových stanic. V posledních pěti letech vzrostl jejich počet ze 115 na 404, tedy více než 3,5 krát (viz Graf č. 5).





**Graf č. 5. Vývoj počtu bioplynových stanic v ČR (MPO, 2016)**

### **3.3.2 Morfologická charakteristika**

#### **3.3.2.1 Vegetativní orgány**

Kořenový systém kukuřice je svazčitý. Pro vazčité kořeny prostupují poměrně hluboko do půdy. V závislosti na podmínkách stanoviště mohou kořeny pronikat do hloubky 1,5 - 3 i více metrů, díky čemuž zajišťují zásobení vodou ze značné hloubky (Chapman, 1996). Dle původu se kořeny kukuřice řadí k primární a sekundární kořenové soustavě. Primární soustava je tvořena kořeny, které jsou zakládány již v zárodku. Sekundární kořenovou soustavu vytváří kořeny, které vznikají během růstu v přeslenech okolo bazálních uzlů (Hochholdinger et al., 2009). Dále může kukuřice vytvářet ze tří až čtyř nadzemních kolének nadzemní vzdušné kořeny, které mohou fungovat jako ochrana před polehnutím (opěrné kořeny). Při kontaktu s kyprou půdou mohou rostlinu i vyživovat (Zimolka, 2008).

Stéblo kukuřice je podobně jako u jiných obilnin vzpřímené a dužnaté. Na povrchu je hladké a v závislosti na odrůdě dosahuje výšky 120 až 300 i více cm. Je zásobním orgánem kukuřice, který umožňuje spojení listů a kořenů (Zimolka, 2008). Stéblo je složeno z článků (internodií), které se střídají s plnými kolénky (nody). Počet kolének a nadzemních článků je závislý na podmínkách stanoviště a délce vegetační doby (Vaněk et al., 2002). Z každého kolénka vyrůstají na stéble vstříčné listy, které tvoří dvě svislé řady a zároveň chrání svými pochvami bazální části článků (Zimolka, 2008).

Listy kukuřice jsou široké a dlouze kopinaté. Čepel listu je široká a má nápadné střední žebro. Povrch čepele je na svrchní straně mírně porostlý trichomy, na spodní straně je hladký. Podle postavení listové čepele k povrchu půdy lze rozlišovat dva typy listů. Jedná se o listy vertikálně postavené (erektofilní) a listy horizontálně postavené (planofilní). Podíl listů na celkovém výnosu sušiny se u kukuřice pohybuje v rozmezí 10 až 20 % (Šuk et al., 1998). Velikost listů, zejména pak šířka, ale i další znaky jsou dány odrůdou. Jsou však také ovlivňovány faktory prostředí (Zimolka, 2008).

### **3.3.2.2 Generativní orgány**

Od jiných lipnicovitých druhů se kukuřice liší stavbou květenství, neboť tvoří květy jednodomé různopohlavné. Samičí květenství je palice, samčí květenství představuje lata. Ta je umístěna na vrcholu rostliny, palice se nachází ve střední části stébla, vyrůstá v úžlabí listů (Šuk et al., 1998).

Osa klasu je tvořena klasovým větvenem. Počet větven se obvykle pohybuje od 8 do 18 a je vždy sudý. Semeník je zakončen dlouhou, řídce obrvenou čnělkou, která má nitkový tvar. Blizny při kvetení vyčnívají z listenů, které v počtu 4 až 12 palici obalují (Zimolka, 2008).

Lata kvete od středu a pyl je uvolňován po dobu 4 až 5 dní. Počátek kvetení palice je oproti počátku kvetení laty za normálních podmínek opožděn o 1 až 5 dnů. Doba opylení závisí na teplotě a vlhkosti (Holubová, 2002). Právě v období 10 až 15 dní před kvetením a 25 až 30 dnů po odkvetení přijímá rostlina dle Kramberger et al. (2009) 70 až 80 % celkové potřeby živin.

Obilka má různou barvu, tvar a velikost a má poměrně velké embryo. Obsahuje v průměru 3,5 až 5,5 % tuku, 8 až 10 % bílkovin, 67 až 75 % sacharidů, 2 až 2,5 % vlákniny a 1,5 % minerálních látek. V zastoupení vitamínů se zde vyskytují B1, B2, B6 a PP a provitamin A (Zimolka, 2008). Počet zrn v palici a hmotnost tisíce semen jsou nejvíce ovlivněny dusíkatým hnojivem (Cox et Cherney, 2001).

## 3.4 Systémy zpracování půdy

### 3.4.1 Konvenční zpracování půdy

Pro celou řadu pěstovaných plodin je konvenční zpracování půdy stále nejrozšířenějším způsobem (Titi, 2003). Nejinak je tomu i v České republice, a to i z důvodu přírodních podmínek, které v našich zeměpisných polohách panují (Šuk et al., 1998). Charakteristickým rysem této technologie je obracení ornice radličnými pluhy a každoroční kypření půdy. Jde o tradiční a dlouhodobě využívaný systém zpracování půdy, který je založen na časovém rozmezí mezi základním a předseťovým zpracováním půdy (Garibay et al., 1997). Jeho hlavním cílem je regulace plevelů. Díky poměrně dlouhé době mezi jednotlivými operacemi je zde však i dostatečný prostor pro slehnutí půdy (Herrera et al., 2013).

Konvenční zpracování půdy prochází neustálým vývojem a jsou uplatňovány některé inovace (Feil et al., 1997). Jedná se například o propojení některých pracovních operací, jako je spojování orby a drcení hrud. I při spojování těchto operací je stále možné hovořit o této technologii jako o konvenční (Liu et Wiatrak, 2012).

Mezi výhody tohoto systému zpracování půdy lze obecně řadit relativně vyšší výnos zrna kukuřice a lepší hospodaření se živinami ve srovnání s pásovým či bezorebným zpracováním půdy (Liu et Wiatrak, 2012). Další výhodou je pak dle Krauss et al. (2010) jistota a stabilita ve výnosu, které jsou ověřeny desetiletími používání této technologie.

K nevýhodám konvenčního zpracování půdy patří bezesporu jeho větší energetická náročnost. To se týká zejména traktorů a také oddělení operací, což zvyšuje spotřebu energie a také vede k většímu počtu přejezdů (Krauss et al., 2010). Další nevýhodou této technologie jsou problémy ekologického rázu. Jde především o půdní erozi, povrchový odtok herbicidů, ztrátu živin a vyplavování dusičnanů do podzemních vod (Liu et Wiatrak, 2012).

Z ekonomického hlediska je tento způsob zpracování půdy také časově i finančně náročnější oproti alternativním technologiím (Krauss et al., 2010).

#### 3.4.1.1 Podmítka

Následným krokem po sklizni hlavní plodiny je podmítka. Ta je v případě kukuřice prováděna především po obilnině (Garibay et al., 1997). Včas provedená podmítka napomáhá klíčení semen plevelů, což je ještě podpořeno půdní vláhou. Takto vzešlé plevelné rostliny jsou

následně orbou zapraveny do půdy. Pod povrchem půdy dochází k zastavení růstu a následně k jejich odumírání (Herrera et al., 2013).

Podmítka dále slouží k promísení půdy a rostlinných zbytků, což má pozitivní vliv na hospodaření s půdní vláhou (Titi, 2003). Provzdušnění půdy vede k aktivaci biogeocenózy, v důsledku čehož dochází ke sníženému výskytu chorob a škůdců. Při deštivém počasí zajišťuje podmítka rovněž rovnoměrné vsakování dešťové vody (Mupangwa et al., 2012).

Z výše uvedeného je zřejmé, že kvalitní a včas provedená podmítka poskytuje dobrý a kvalitní základ pro následné vstupy. Je řazena mezi energeticky méně náročné operace a v případě kvalitního provedení vede ke snížení nároků na další kroky v přípravě půdy a tím i k celkovému snížení nákladů (Garibay et al., 1997).

Z hlediska hloubky kypření půdy můžeme podmítku dle Hůly et al. (1997) dělit na:

- mělkou podmítku (do 8 cm hloubky)
- středně hlubokou podmítku (8 - 12 cm hloubky)
- hlubokou podmítku (12 - 15 cm hloubky).

Mělká podmítka se obvykle využívá v klimaticky chladnějších oblastech a na lehkých půdách. Naopak hlubší podmítka je prováděna v klimaticky sušších oblastech, a to z důvodu vytvoření izolační vrstvy, která zabraňuje evapotranspiraci. Stejně tak je hlubší podmítka vhodná při zapravení větších posklizňových zbytků nebo hnojiv (Hůla et al., 1997).

Jak uvádí Škoda et Cholenský (2002) nebo Zimolka (2008), podmítka je prováděna zejména talířovými a radličnými podmítači nebo také kombinovanými kypřiči.

### **3.4.1.2 Orba**

Orba je nejčastěji prováděna radličnými pluhy a využívá se pro obracení zpracovávané vrstvy půdy, její drobení, kypření a promíchávání, dále pro zapravení hnojiv a rostlinných zbytků do půdy (Garibay et al., 1997). V důsledku provzdušnění a pozitivních účinků na půdní vláhu má orba významný vliv na aktivaci biologických procesů v půdě (Šuk et al., 1998).

Nejdůležitějším faktorem, který rozhoduje o volbě termínu orby, je drobitost půdy. Před započítím samotné orby je důležité stanovení půdní vlhkosti, která ovlivňuje drobitost. Pokud je obsah půdní vlhkosti nízký, lze očekávat dobrou drobitost a tím také kvalitní výsledek orby (Garibay et al., 1997). Při orbě se kromě drobitosti posuzují také další

parametry půdy jako úroveň kypření, úroveň obracení a promíchání půdy (Fallahi et Raoufat, 2008).

Z hlediska hloubky lze orbu rozdělit na:

- orbu mělkou (do 18 cm hloubky)
- orbu střední (18 - 24 cm hloubky)
- orbu hlubokou (24 - 30 cm hloubky)
- orbu velmi hlubokou (více než 30 cm hloubky).

Po velmi hluboké orbě je možno provádět ještě tzv. “rigolování“, které je ale značně časově i energeticky náročné (Hůla et al., 1997).

Mělká orba nachází své uplatnění především v oblastech, kde z důvodu malého orničního profilu nelze využít orbu střední či hlubokou (Titi, 2003). Je také využívána při zapravování meziplodin do půdy (Fallahi et Raoufat, 2008).

Pro obdělávání většiny půdní výměry je využívána střední orba. Používá se především při konvenčním způsobu zpracování půdy (Krauss et al., 2010).

Hluboká orba má své využití při potlačování zejména vytrvalých plevelů, které se díky ní dostanou do spodních vrstev půdního profilu (Mupangwa et al., 2012). Při následné orbě, která obvykle odpovídá svou hloubkou orbě střední, se již tyto plevele na povrch nedostanou (Titi, 2003).

Obecně lze říci, že kvalitní provedení orby působí pozitivně na regulaci nejen vytrvalých plevelů, ale také škůdců a chorob (Herrera et al., 2013).

Orba patří mezi nejnáročnější operace v technologickém procesu zpracování půdy, který vyžaduje vysoký vklad času a energie (Titi, 2003).

### **3.4.1.3 Předseťové zpracování půdy**

Dalším krokem v technologii konvenčního zpracování půdy, který následuje s časovým odstupem po podmítce a orbě, je předseťová příprava. Jde o poslední krok před uložením osiva či sadby do půdy. Předseťová příprava ornici urovná, rozdrobí hroudy a jemně půdu utuží. Utužením půdy je zabráněno nadměrnému slehnutí půdy, které by mohlo mít negativní vliv na kořenový systém vzcházejících rostlin (Hůla et al., 1997).

Základem pro kvalitní předseťovou přípravu je dodržení termínů zpracování půdy. Jde o jednu z posledních možností, kdy je možná likvidace vzešlých plevelů nebo zapravení hnojiva do půdy. Výsledkem této přípravy je vytvoření seťového lůžka (Krauss et al., 2010).

Předseťová příprava je náročná na množství přejezdů po pozemku, což může vést až k nadměrnému utužování půdy. Proto je nezbytné vhodně spojovat pracovní operace tak, aby se minimalizovalo množství přejezdů (Mupangwa et al., 2012). Snížením počtu přejezdů dochází také ke snižování nákladů a úspore času (Krauss et al., 2010).

Škoda et Cholenský (2002) nebo Zimolka (2008), uvádí, že pro kukuřici je vhodná předseťová příprava dělená do dvou fází. V první fázi je nutné zajistit urovnání a nakypření povrchu půdy (Zimolka, 2008). K tomu jsou využívány kombinace smyků a bran (Šimon et al., 1999). Ve druhé fázi dochází k přípravě seťového lůžka, odstraňování druhé vlny plevelů či zapravení hnojiva (Škoda et Cholenský, 2002). V této fázi jsou používány kombinátory, na lehčích půdách také hřebenové, vibrační nebo smykové brány (Šimon et al., 1999).

V předseťové přípravě půdy došlo v posledních letech k řadě inovací. Jednou z nich jsou i tzv. stroje s pasivními nástroji. Jde o stroje, které nejsou energeticky závislé na vývodové hřídeli traktoru. Princip spočívá ve spojení práce válců, bran, kypřičů a smyků (Škoda et Cholenský, 2002). Kompaktory jsou schopny držet danou hloubku záběru po celou dobu pracovní operace. Z těchto důvodů jsou kompaktory rozšířenými a oblíbenými nástroji pro kvalitní předseťovou přípravu půdy (Hůla et al., 1997).

### **3.4.2 Alternativní metody zpracování půdy**

V současnosti jsou hledány stále nové technologické postupy, které by dokázaly eliminovat erozní procesy. Zásadní roli v těchto snahách dnes hrají půdoochranné technologie, jejichž základem jsou rozdílné systémy zpracování půdy. Tyto systémy mají za cíl využít ochranného efektu živého nebo mrtvého mulče nacházejícího se na povrchu půdy, podpořit infiltraci nebo zvýšit drsnost povrchu (Brant et al., 2013).

#### **3.4.2.1 Přímý výsev do nezpracované půdy**

Přímé setí je nejčastěji nazýváno jako tzv. „no-tillage“. Můžeme se ale setkat s výrazy „direct-drilling“ či „zero-tillage“. Pojem „zero-tillage“ je využíván v Anglii a v překladu znamená „nulová orba“. „Direct-drilling“ je výraz pocházející ze Severní Ameriky a lze ho přeložit jako „přímé setí“ (Titi, 2003). Tento systém se běžně využívá v USA například při pěstování kukuřice z důvodu ochrany půdy, zvýšení půdní úrodnosti, snížení nákladů a časové náročnosti (Nash et al., 2013).

Principem přímého setí je, že na pozemku nedochází k žádné pracovní operaci od sklizně do následného setí nové plodiny (Montenegro et al., 2013). Výjimku tvoří pouze aplikace hnojiv. Celý proces kultivace půdy je vynechán a povrch půdy je kryt a chráněn posklizňovými zbytky. K porušení půdy dochází pouze v době setí, kdy se tvoří pouze úzký řádek pro výsev plodiny (Mupangwa et al., 2012). K tomu je využíván speciální secí stroj, kterým je půda narušena pouze na nezbytné minimum. Takto je narušeno pouze cca 25 % plochy půdy (Šimon et al., 1999).

Tuto technologii lze aplikovat pouze na určitém typu půd (Reeder et al., 1993). Půdy jílovité nejsou pro přímé setí příliš vhodné. Důvodem je to, že tyto půdy zadržují vodu a velmi pomalu vysychají, mohou být také studené a obtížné pro přípravu setíového lůžka. Oproti tomu půdy písčité či hlinité jsou díky své struktuře pro přímé setí vhodné (Mupangwa et al., 2012).

#### **3.4.2.2 Minimalizační technologie zpracování půdy**

Celosvětově existuje celá řada vědeckých prací, které se zabývají vlivem různého způsobu zpracování půdy na změny půdního prostředí či na výši výnosu. I tento fakt svědčí o tom, že minimalizační technologie zpracování půdy je rozšířena prakticky po celém světě. V USA je

tato technologie využívána na více než 50 % orné půdy (Karlen et al., 2013). Ještě lepších výsledků je touto technologií dosahováno v sušších a teplejších oblastech. Jako příklad lze uvést Itálii, Španělsko či část Francie. V těchto zemích se minimalizační technologie dále rozvíjí a plocha takto obdělávané půdy narůstá (Herrera et al., 2013).

U nás byly výzkumy minimalizačních technologií prováděny již v 60. letech 20. století (Váňová et al., 2011). Jejich význam vzrostl vlivem zavádění pravidel GAEC (dnes DZES). Tato protierozní opatření na silně a středně erozně ohrožených půdách jsou definována v nařízeních vlády jednotlivých dotačních titulů a jsou pro zemědělce povinná již od roku 2004 (Šedek, 2011).

Důvodů, díky kterým jsou dnes minimalizační technologie považovány za významnou alternativu konvenčních technologií s orbou, je několik. Jedná se např. o snižování výrobních nákladů nebo pozitivní vliv na kvalitu půdního prostředí (Procházková et al., 2008). Jak zjistili například Moussavi et al. (2011) nebo Karlen et al. (2013), využití minimalizační technologie je pro kukuřici pozitivní zejména s ohledem na ochranu půdního a životního prostředí. Dalšími klady pak jsou omezení eroze a snížení ztrát pohyblivých forem dusíku (Fallahi et Raoufat, 2008).

Minimalizační technologie lze tedy považovat za přínosné, ale je třeba vzít v úvahu i rizika, která jsou s touto technologií v různých podmínkách hospodaření spojena. Mezi tato rizika patří například vyšší výskyt chorob a škůdců a s tím související vyšší náklady na chemickou ochranu. Dále pak pomalejší prohřívání svrchní vrstvy půdy a tím pádem také horší podmínky pro vzházení osiva (Váňová et al., 2011).

### **3.4.2.3 Ochranné zpracování půdy**

Tyto technologie příznivě působí na zvýšení udržitelnosti zemědělství a jejich aplikace může potenciálně vést k snižování emisí skleníkových plynů. Základem těchto technologií je minimalizace narušení půdy a ponechání rostlinných zbytků na pozemku. Ty mají především funkci meliorační a půdoochrannou (Herrera et al., 2013). Jak uvádí Garibay et al. (1997), setí do mulče snižuje v průběhu vegetačního období kukuřice erozi půdy až o 90 %. Kromě snížení eroze má půdoochranné zpracování půdy pozitivní vliv také na úsporu energie a pracovní náročnosti, což vede ke snižování celkových nákladů (Fallahi et Raoufat, 2008).



Za dostatečný pokryv půdy rostlinnými zbytky lze dle Branta et al. (2011) obecně považovat hodnotu 30 % v termínu výsevu plodiny. Takové množství rostlinných zbytků je schopno zajistit dostatečnou ochranu půdy před kapkovou erozí do doby zapojení porostu.

Při bezorebném zpracování půdy jsou posklizňové zbytky zapravovány do půdy jen částečně (Li-Min et al., 2011). Na povrchu půdy se vytváří mulč v podobě rostlinných zbytků, který přímo ovlivňuje infiltraci dešťové vody do půdy a odpařování z půdy. To má za následek lepší distribuci vody v půdě a její dostupnost pro rostliny (Mupangwa et al., 2012).

Další půdoochrannou technologií je zpracování půdy do hrůbků, tzv. „ridge-till“. Své uplatnění nachází tato technologie zejména u širokořádkých plodin. V České republice je využívána u brambor a kukuřice, ale její využití není příliš časté (Šimon et al., 1997). Krauss et al. (2010) uvádí, že v Německu se hrůbkování postupně rozšiřuje i při pěstování cukrové řepy. Charakteristickým rysem této technologie je to, že po vytvoření hrůbků již nedochází k žádnému dalšímu zpracování půdy až do výsevu. K výsevu je nutné použít speciální secí stroje, které vysévají osivo na vrchol hrůbku. K regulaci plevelů lze využít buď chemické přípravky, nebo mechanickou kultivaci, při níž jsou hrůbky opět obnovovány (Šimon et al., 1997). Hrůbkování vede k vytvoření jednoduššího a delšího kořenového systému (Temesgen et al., 2012).

Další půdoochrannou technologii představuje systém irské firmy Samco, který využívá princip solarizace. Základem této technologie je pokrytí povrchu půdy fólií, která slouží k zvýšení teploty půdy a teploty vzduchu v prostoru mezi fólií a půdou. Při zakládání porostu dochází k tvorbě nízkého hrůbku, do kterého je následně vyseto osivo, dále je aplikován herbicid a následně je povrch půdy pokryt fólií, která je ukotvena v půdě zahrnutím. Tímto způsobem vzniká hrůbek, jehož šířka činí 0,7 m. Fólie na povrchu půdy příznivě působí na snížení poškození půdní struktury dešťovými kapkami. Snižuje kinetickou energii kapek a tím chrání půdní agregáty (Brant et al., 2015).

Na erozně ohrožených pozemcích lze využít i technologii výsevu do vymrzající meziplodiny. Hlavním důvodem pro aplikaci této technologie je ochrana půdy a životního prostředí (Procházková, 2008). V zásadě lze při zakládání porostů do vymrzající meziplodiny uplatňovat dvě technologie. Jde o přímý výsev, nebo výsev se zpracováním půdy (Karlen et al., 2013). Na pozemcích osetých bez zpracování půdy je půda na jaře prohřívána pomaleji (Murphy et al., 1996). To je zapříčiněno zbytky meziplodiny, které zvyšují tepelnou vodivost půdy. Tato skutečnost může negativně ovlivňovat kvalitu setí. Výsev kukuřice do vymrzajících meziplodin se nejčastěji uplatňuje po obilninách (Trevini et al., 2013).

#### 3.4.2.4 Pásové zpracování půdy

Tento postup zpracování půdy je rozšířen zejména v zámoří, kde je využíván díky tomu, že jde o postup šetrný k životnímu prostředí, který má navíc i agronomické a ekonomické výhody (Temesgen et al., 2012). Jde o technologii zpracování půdy v pásech ve směru řádků vysévané plodiny, jehož plošný podíl nepřesahuje jednu čtvrtinu plochy pozemku (Trevini et al., 2013). Své uplatnění našel tento tzv. „strip-tillage“ systém hlavně u širokořádkých plodin (Temesgen et al., 2012).

U pásového zpracování půdy dochází ke kombinaci výhod setí do nezpracované půdy a plošného zpracování půdy. V důsledku ponechání rostlinných zbytků v meziřádcích dochází k ochraně půdy a zlepšení půdních podmínek. Ve srovnání s ostatními technologiemi umožňují použití nižších startovacích dávek hnojiv. Hnojivo je možno ukládat do blízkosti kořenů (Reeder et al., 1993). Při použití pásového zpracování půdy lze zlepšit kvalitu půdy a zvýšit infiltraci vody, což jsou důležité faktory pro trvalou udržitelnost zemědělství (Trevini et al., 2013).

Dle intenzity zpracování půdy a použitých pracovních nástrojů lze dle Trevinni et al. (2013) rozlišovat:

- odstranění posklizňových zbytků v řádku vysévané plodiny za pomoci prstových kotoučů či disků
- mělké „strip-tillage“, při kterém jsou rostlinné zbytky odstraněny z řádků pomocí rýhovaných kotoučů
- hlubší „strip-tillage“, kdy kromě odstranění zbytků rostlin dochází také k nakypření půdy za použití pracovních nástrojů pro hlubší kypření.

## **3.5 Rozteče řádků**

### **3.5.1 Klasické rozteče řádků**

O klasické rozteči řádků hovoříme při meziřádkové vzdálenosti 70 - 75 cm. Výsevek se nejčastěji pohybuje v rozmezí 70 až 110 tisíc klíčivých semen na hektar (Murphy et al., 1996). Jak uvádí Šuk et al. (1998), meziřádková vzdálenost 70 - 75 cm by měla zajistit dostatečné množství světla pro asimilaci, prohřívání půdy a nízké ztráty při sklizni. Širší řádky tedy zajišťují lepší propustnost slunečního záření a tím i lepší využití sluneční energie (Cox et al., 2006).

S roztečí souvisí též likvidace posklizňových zbytků. Především při používání bezorebného setí a „strip-till“ technologie jsou klasické rozteče vhodnější oproti užším řádkům. Tyto technologie jsou u užších řádků obtížněji realizovatelné a dochází k nárůstu výskytu chorob a škůdců. (Cox et Cherney, 2001).

### **3.5.2 Alternativní rozteče řádků**

Jednou z alternativních metod setí kukuřice jsou tzv. úzkořádky. Ty jsou vytvářeny přidáním jednoho řádku mezi řádky s klasickou roztečí 75 cm. Rozteče takto vzniklých řádků jsou pak cca 37,5 cm (Robles et al., 2012). Druhou variantou jsou tzv. dvojřádky, kdy je kukuřice seta do spárovaných řádků. Porosty založené těmito technologiemi lépe odolávají nepříznivým vlivům, jako jsou eroze či zaplevelení (Turgut et al., 2004; Maddonni et al., 2006).

Dvojřádková metoda je relativně novou technologií pěstování kukuřice. Při uspořádání porostu do dvojřádků je kukuřice seta do spárovaných řádků, nejčastěji 18 nebo 20 cm od sebe, v rozestupech 75 cm od jejich středů. Tím lze dosáhnout zvýšení počtu jedinců na hektar, aniž by to mělo za následek přehuštění porostu (Jakubec, 2013).

Jak uvádějí ve svých pracích Gözübenli (2010) a Balcom et al. (2011), díky většímu počtu rostlin je možné u alternativních roztečí řádků dosáhnout vyššího výnosu. Jak zjistil Cox et al. (2006), úzké řádky poskytují také vyšší výnos sušiny než konvenční řádky nebo dvojřádky.

Robles et al. (2012) a Martins et al. (2013) uvádějí, že při využití alternativních roztečí se často využívá hnojení pod patu, což má zajistit stejné množství živin. V důsledku toho však rostou ekonomické náklady, takže ekonomický přínos je takřka nulový.

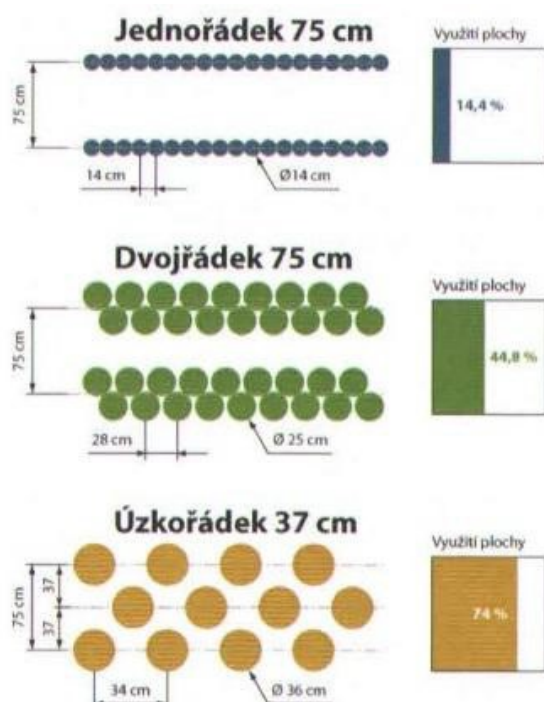
Při hnojení pod patu jsou zvýšené především dávky dusíku. V jarním období, které je obvykle bohaté na srážky, je důležité zajistit zásobení právě touto živinou (Martins et al., 2013). Při hnojení pod patu je důležité, aby se dusík vyskytoval v amoniakální formě a byl bez přítomnosti chloridů a karbonátů (Kramberger et al., 2009).

I přes své nesporné kladné vlastnosti mají úzké řádky i svá úskalí. Mohou například nastat problémy v průběhu pěstitelských postupů. Užší řádky také mají lepší vliv na zásobení rostlin živinami a uplatňují se hlavně při dostatku srážek (Cox et al., 2006).

### 3.5.3 Srovnání klasických a alternativních roztečí řádků

Řada výzkumů se v poslední době zabývá problematikou rozteče řádků při pěstování kukuřice. Tyto výzkumy jsou vedeny ve snaze zvýšit výnos a kvalitu kukuřičné siláže a stále více i snížit nebezpečí eroze půdy (Cox et Cherney, 2001; Turgut et al., 2004).

Schematické porovnání jednotlivých systémů je znázorněno na Obr. č. 2.



Obr. č. 2 Schematické porovnání jednotlivých systémů výsevu kukuřice (Zea, 2013)

**Klasické řádky** mají podle Murphy et al. (1996) a Balcom et al. (2011) následující pozitivní a negativní vlastnosti:

**Výhody:**

- lepší využití sluneční energie
- lepší propustnost světla
- nižší investiční náklady

**Nevýhody:**

- vyšší erozní ohrožení
- nižší počet rostlin
- vyšší evapotranspirace.

Podobně také **alternativní rozteče řádků** mají své silné a slabé stránky (Cox et Cherney, 2001; Turgut et al., 2004):

**Výhody:**

- nižší erozní ohrožení
- rychlejší uzavření řádků
- nižší sekundární zaplevelení
- nižší evapotranspirace
- rovnoměrný příjem živin

**Nevýhody:**

- vyšší investiční náklady
- horší propustnost světla.

## 4 Materiál a metodika

### 4.1 Charakteristika stanoviště

Pokus byl založen na pozemku společnosti ZD Krásná Hora nad Vltavou a.s. ve spolupráci s firmou KWS osiva s. r. o., společností P&L spol. s r.o., Biskupice, firmou KUHN CENTER CZ a.s., VÚMOP v. v. i., a Českou zemědělskou univerzitou v Praze, katedrou rostlinné výroby.

Pozemky společnosti ZD Krásná Hora nad Vltavou a.s. se nachází v bramborářsko-ovesné výrobní oblasti, průměrná nadmořská výška se pohybuje kolem 400 - 450 m.n.m., roční úhrn srážek činí cca 500 mm a průměrná roční teplota 6,7 °C. Průměrná cena pozemků pro daňové účely a pro nájemné se pohybuje v rozmezí 2,1 - 4,2 Kč za m<sup>2</sup>.

Pro tento pokus byl zvolen pozemek s mírně erozně ohroženou půdou (MEO), na kterém je doporučeno zakládat porosty širokořádkových plodin půdoochrannou technologií. Průměrná sklonitost pozemku přesahuje 7 °. Pozemek se nachází nedaleko obce Petrovice (434 m.n.m) v okrese Příbram ve Středočeském kraji (viz Příloha č. 1). Na tomto pozemku bylo za pomoci GPS zaměřeno a vytvořeno 12 dílčích parcel o velikosti 24 m x 50 m. Parcely byly situovány v těsné blízkosti vedle sebe, což umožnilo porovnat výsledky jednotlivých technologií mezi sebou.

#### 4.1.1 Klimatické, meteorologické a půdní charakteristiky

- **Klimatická oblast:** teplý suchý, teplý mírně suchý
- **Klimatický okres:** mírně teplý
- **Průměrná roční teplota:** 6,7 °C
- **Vláhová oblast podle HTK Sekaninova:** 1,3 - mírně vysušná
- **Roční úhrn srážek:** 500 mm
- **Půdní typ:** hnědozem
- **Půdní druh:** hlinitá půda
- **Obsah humusu:** 3 %

## 4.2 Metodika pokusu

### 4.2.1 Popis agrotechniky pokusu

Předplodinou pro kukuřici byla pšenice ozimá (*Triticum aestivum* L.). Po sklizni pšenice ozimé byla provedena aplikace 20 m<sup>3</sup> digestátu na 1 ha. Poté následovalo zapravení rostlinných zbytků strniště a digestátu diskovým podmítačem Lemken-Rubin. Kompaktní disky na tomto stroji jsou použity pro zkrácení a zapracování rostlinných zbytků do půdního profilu a zároveň k jejich rovnoměrnému rozprostření po celé šířce pracovního záběru stroje. Následně byla zaseta strnisková meziplodina - svazenka vratičolistá (*Phaceliatan acetifolia*) s výsevkem 10 kg/ha a zavláčena do půdy. V dubnu 2014 byly před setím vytvořeny parcely pro jednotlivé varianty a příslušný počet opakování (vždy minimálně 3 opakování). Herbicidní ošetření pozemku bylo provedeno herbicidem Gardoprim plus v dávce 4 l/ha. Příprava půdy před setím byla provedena v níže uvedených variantách.

Setí proběhlo 12. 5. 2014 přesným secím strojem typu KINZE 3500 s výsevkem 90 tis. jedinců na ha ve dvou meziřádkových vzdálenostech 75 cm respektive v alternativní meziřádkové vzdálenosti 37,5 cm (viz Příloha č. 2), hloubka setí 6 cm. K výsevu byl vybrán hybrid SILVINO s číslem ranosti FAO (*Food and Agriculture Organization*) 210. Tento hybrid vykazuje vysokou plasticitu s velmi rychlým počátečním růstem a výbornou odolností proti chladu. V průběhu vegetace bylo provedeno přihnojení DAM 390 v množství 200 l/ha.

Ve spolupráci s VÚMOP byl proveden pokus se zadešťováním. Po sestavení zadešťovacího zařízení, které spočívalo v tom, že se postavila konstrukce velikosti 7 krát 3 metry, v horní části se upevnilo zadešťovací zařízení (hadice s tryskami) a spodní část se obložila deskami z polykarbonátu, bylo provedeno zadešťování. Zadešťovací zařízení je vyobrazeno v příloze č. 3. Zadešťovací zařízení bylo vybaveno speciálním čerpadlem. U tohoto čerpadla je možné řídit pomocí počítače tlak a další veličiny potřebné k simulaci deště. Byla použita tryska 30 WSQ, tlak 0,5 baru. Intenzita srážek činila 1,02 mm za minutu a úhrn srážek činil 20,5 mm za 20 minut. Jako zdroj vody byl použit přistavený cisternový zásobník. Zadešťování probíhalo v dvacetiminutových intervalech v několika opakováních. V nejnižším bodě parcely ve směru odtoku vody byl instalován lapač k odběru vzorků eroze. Hodnocen byl vliv srážek na suchou i mokrou půdu. Odebrané vzorky byly vyhodnoceny v laboratoři.

Sklizeň byla provedena 7. října 2014. Ke sklizni byla použita sklízecí řezačka typ Jaguar 850 (viz Příloha č. 4) určená pro sklizeň a drcení celých rostlin. Byly sklizeny celé rostliny na výšku strniště 30 cm (viz Příloha č. 5). Postupně byly sklizeny jednotlivé varianty pokusu.

U každé varianty byl odebrán vzorek čerstvé silážní drtě, který byl následně odeslán k vyhodnocení do laboratoře. Byla zaznamenána také hmotnost sklizené drtě z jednotlivých variant, aby bylo možné provést porovnání výnosů.

#### **4.2.2 Varianty pokusu**

Pokus byl založen v těchto variantách:

##### **Zpracování půdy:**

Varianta 1: půda zpracovaná klasickým diskovým podmítačem do hloubky 0,2 m

Varianta 2: bez zpracování půdy

##### **Šířka řádků:**

Varianta 1: standardní řádky 75 cm

Varianta 2: úzké řádky 37,5 cm

Pro kontrolu byly zmíněné varianty porovnány s kypřeným úhorem.

##### **Hodnocené parametry:**

- ztráta půdy
- velikost povrchového odtoku
- infiltrace
- výnos siláže a její sušiny jednotlivých variant pokusu.

#### **4.2.3 Statistické vyhodnocení**

Výzkum a vyhodnocování po jednotlivých simulacích deště bylo provedeno Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půd, který vyhodnotil parametry spojené s vodní erozí půdy.

Vliv rozdílných technologií zpracování půdy na sledované parametry byl hodnocen za použití statistické metody ANOVA (analýza jednoduchého třídění), hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ , v programu Statistica 12 (StatSoft, Inc., 2013). Obdobně byly hodnoceny také výnosové ukazatele.



## 5 Výsledky

### 5.1 První měření

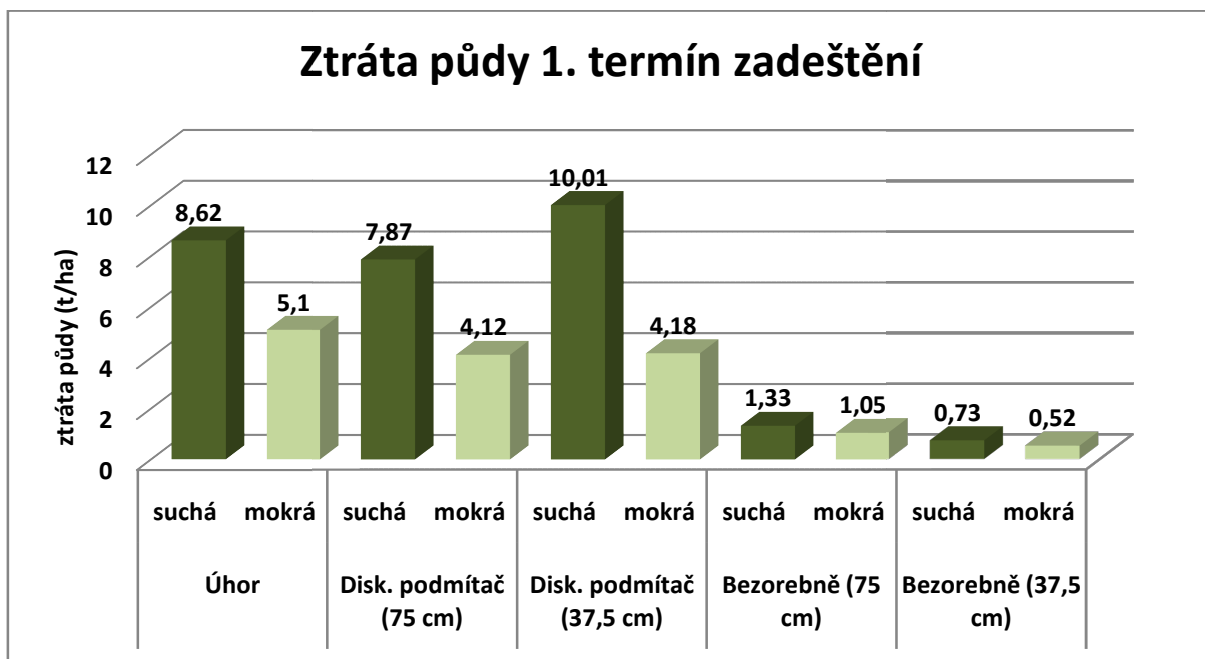
První zadeštění bylo provedeno v polovině druhého pěstebního období, které je definováno jako období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí nebo sázení. Konkrétně v termínu 3. 6. 2014. Rostlinky kukuřice měřily okolo 4-5 cm a měly 3 vyvinuté listy. Celková pokryvnost plochy plodinou byla minimální a dosahovala cca 2 %. V tabulce č. 1 jsou uvedena naměřená data z prvního zadešťování. Byly zaznamenány následující parametry: výška plodiny, vlhkost půdy před a po zadešťování, začátek povrchového odtoku, infiltrace, velikost povrchového odtoku a ztráta půdy.

Získané porovnané průměry jednotlivých variant nejsou statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  z důvodu menšího počtu opakování. To je dáno především časovou a finanční náročností jednotlivých měření, která sama o sobě představují reprezentativní hodnoty z pokusných ploch.

Varianta	Stav půdy	výška plodiny	vlhkost půdy [% obj.]		začátek povrch. odtoku	infiltrace	velikost povrch. odtoku	ztráta půdy
		[cm]	před	po	[s]	[mm]	[mm]	[t.ha <sup>-1</sup> ]
Úhor	suchá	-	13,8	28,2	227	23,07	15,5	<b>8,62</b>
	mokrá	-	28,2	31,4	22	7,64	11,5	<b>5,1</b>
Diskový podmítač (75 cm)	suchá	5	18,7	32,7	103	24,18	14,15	<b>7,87</b>
	mokrá	5	32,7	33,6	44	8,11	10,1	<b>4,12</b>
Diskový podmítač (37,5 cm)	suchá	5	22,1	31,3	93	21,4	17	<b>10,01</b>
	mokrá	5	31,3	32,5	40	8,61	10,7	<b>4,18</b>
Bezorebně (75 cm)	suchá	4	19,6	31,9	319	28,23	10,3	<b>1,33</b>
	mokrá	4	31,9	33,3	60	9,21	10,1	<b>1,05</b>
Bezorebně (37,5 cm)	suchá	4	21,4	31,2	320	32,75	5,9	<b>0,73</b>
	mokrá	4	31,2	32,6	65	11,87	7,45	<b>0,52</b>

Tabulka č. 1 První termín zadešťování

Výsledky ztráty půdy z 1. měření jsou patrné z Grafu č. 6. Při tomto měření byl ochranný vliv vegetace pouze nepatrný. Proto jsou výsledky nejlépe využitelné pro zhodnocení použité agrotechniky. Výrazně se zde projevil význam bezorebného setí, které proti variantě zpracování diskovým podmítačem vykazovalo v tomto období podstatné snížení parametru ztráta půdy. Výsledky jednoznačně potvrzují správnost využívání technologie bezorebného setí jako půdoochranné technologie.



Graf č. 6 Ztráta půdy v prvním termínu zadešťování

## 5.2 Druhé měření

Druhé měření simulátorem deště na pokusných parcelkách proběhlo v termínu 8. 7. 2014. Kukuřice v tomto období dosahovala výšky 50 - 80 cm a měla vyvinutých 9 - 10 listů. Celková pokrývnost plochy plodinou dosahovala cca 50 %. V tabulce č. 2 jsou zaznamenána naměřená data z druhého zadešťování. Byly sledovány stejné parametry jako v případě 1. zadešťování. Konkrétně: výška plodiny, vlhkost půdy před a po zadešťování, začátek povrchového odtoku, infiltrace, velikost povrchového odtoku a ztráta půdy.

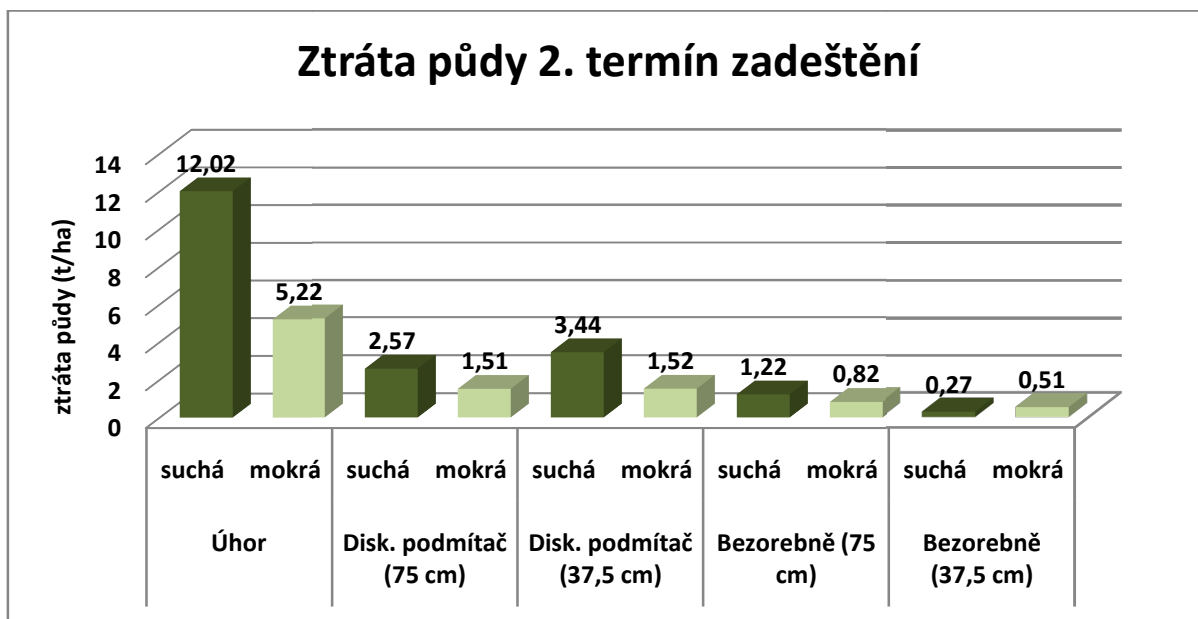
Získané porovnané průměry jednotlivých variant nejsou statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  z důvodu menšího počtu opakování. To je dáno především časovou

a finanční náročností jednotlivých měření, která sama o sobě představují reprezentativní hodnoty z pokusných ploch.

Varianta	Stav půdy	výška plodiny	vlhkost půdy [% obj.]		začátek povrchního odtoku	infiltrace	velikost povrchního odtoku	ztráta půdy
		[cm]	před	po	[s]	[mm]	[mm]	[t.ha <sup>-1</sup> ]
Úhor	suchá	-	17,2	28,7	257	22,84	15,7	<b>12,02</b>
	mokrá	-	28,7	30,2	45	8,75	10,6	<b>5,22</b>
Diskový podmítač (75 cm)	suchá	80	17,5	24,3	140	20,06	18,4	<b>2,57</b>
	mokrá	80	24,3	31,4	58	8,01	11,2	<b>1,51</b>
Diskový podmítač (37,5 cm)	suchá	80	14,1	24,7	114	20,3	18,2	<b>3,44</b>
	mokrá	80	24,7	28,8	56	8,3	11	<b>1,52</b>
Bezorebně (75 cm)	suchá	50	17,8	27,2	242	31,91	6,55	<b>1,22</b>
	mokrá	50	27,2	31,6	63	10,6	8,6	<b>0,82</b>
Bezorebně (37,5 cm)	suchá	50	15,9	26,5	431	34,96	3,5	<b>0,27</b>
	mokrá	50	26,5	30,7	52	13,9	5,3	<b>0,51</b>

Tabulka č. 2 Druhý termín zadešťování

V Grafu č. 7 jsou uvedeny výsledky z 2. měření. Je patrný pozitivní efekt výraznějšího zapojení porostu a vyšší pokryvnost v porovnání s 1. měřením. Vzrostlejší vegetace se projevila zejména v parametru ztráta půdy, překvapivě se však neprojevil rozdíl mezi úzkým a širokým řádkem. I v tomto případě se projevila rozdíl mezi suchou a mokrou půdou, kdy kromě varianty bezorebného setí v rozteči 37,5 cm byla ztráta půdy vždy vyšší na suché půdě.



Graf č. 7 Ztráta půdy ve druhém termínu zadešťování

### 5.3 Třetí měření

Třetí měření na pokusných plochách se simulátorem deště proběhlo v termínu 27. 8. 2014. Kukuřice dosahovala v tomto období ve všech variantách výšky 290 cm a měla 11-12 vyvinutých listů. Celková pokrývnost plochy plodinou se pohybovala kolem 65 %.

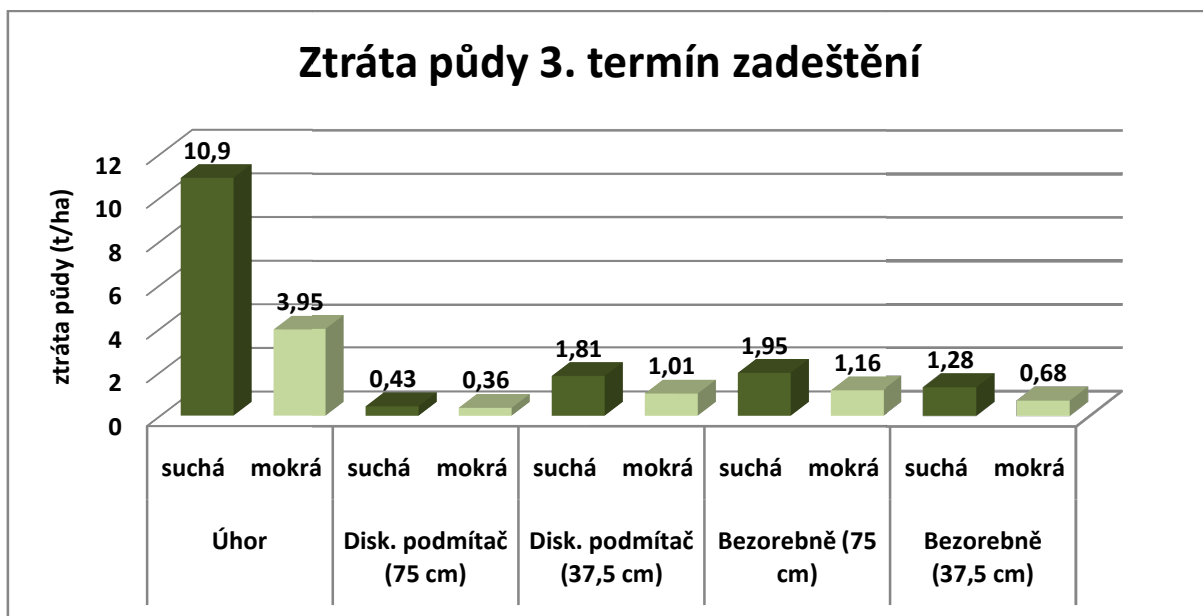
V tabulce č. 3 jsou zaznamenána naměřená data ze třetího zadešťování. Byly sledovány stejné parametry jako v případě 1. a 2. zadešťování. Jednalo se o tyto parametry: výška plodiny, vlhkost půdy před a po zadešťování, začátek povrchového odtoku, infiltrace, velikost povrchového odtoku a ztráta půdy.

Získané porovnané průměry jednotlivých variant nejsou statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  z důvodu menšího počtu opakování. To je dáno především časovou a finanční náročností jednotlivých měření, která sama o sobě představují reprezentativní hodnoty z pokusných ploch.

Varianta	Stav půdy	výška plodiny [cm]	vlhkost půdy [% obj.]		začátek povrch. odtoku [s]	infiltrace [mm]	velikost povrch. odtoku [mm]	ztráta půdy [t.ha <sup>-1</sup> ]
			před	po				
Úhor	suchá	-	18,7	25,8	180	13,66	24,75	<b>10,9</b>
	mokrá	-	25,8	29,5	43	4,91	14,35	<b>3,95</b>
Diskový podmítač (75 cm)	suchá	290	19,4	24,7	94	22,92	15,35	<b>0,43</b>
	mokrá	290	24,7	28,8	50	6,98	12,25	<b>0,36</b>
Diskový podmítač (37,5 cm)	suchá	290	15,9	25,9	107	18,68	19,65	<b>1,81</b>
	mokrá	290	25,9	29,1	47	6,62	12,7	<b>1,01</b>
Bezorebně (75 cm)	suchá	290	23,2	29,6	39	17,76	20,55	<b>1,95</b>
	mokrá	290	29,1	31,9	37	5,04	14,3	<b>1,16</b>
Bezorebně (37,5 cm)	suchá	290	22,8	29,8	68	18,69	19,75	<b>1,28</b>
	mokrá	290	29,8	32,7	43	6,28	13,2	<b>0,68</b>

Tabulka č. 3 Třetí termín zadešťování

V Grafu č. 8 jsou uvedeny výsledky z 3. měření. U 3. termínu měření dosahovala kukuřice výšky 290 cm a hlavní vliv na parametr povrchový odtok a ztráta půdy má pokrývnost plochy plodinou, která byla u všech testovaných variant přibližně obdobná a dosahovala přibližně 65 %. Ani u třetího měření se zásadně neprojevil rozdíl mezi úzkým a širokým řádkem a v tomto termínu se již neprojevuje vliv bezorebného setí. I při třetím termínu zadeštění lze pozorovat rozdíl mezi suchou a mokrou půdou, kdy v tomto termínu dosahovala ztráta půdy u všech variant nižších hodnot na mokré půdě.



Graf č. 8 Ztráta půdy ve třetím termínu zadešťování

## 5.4 Výnos biomasy

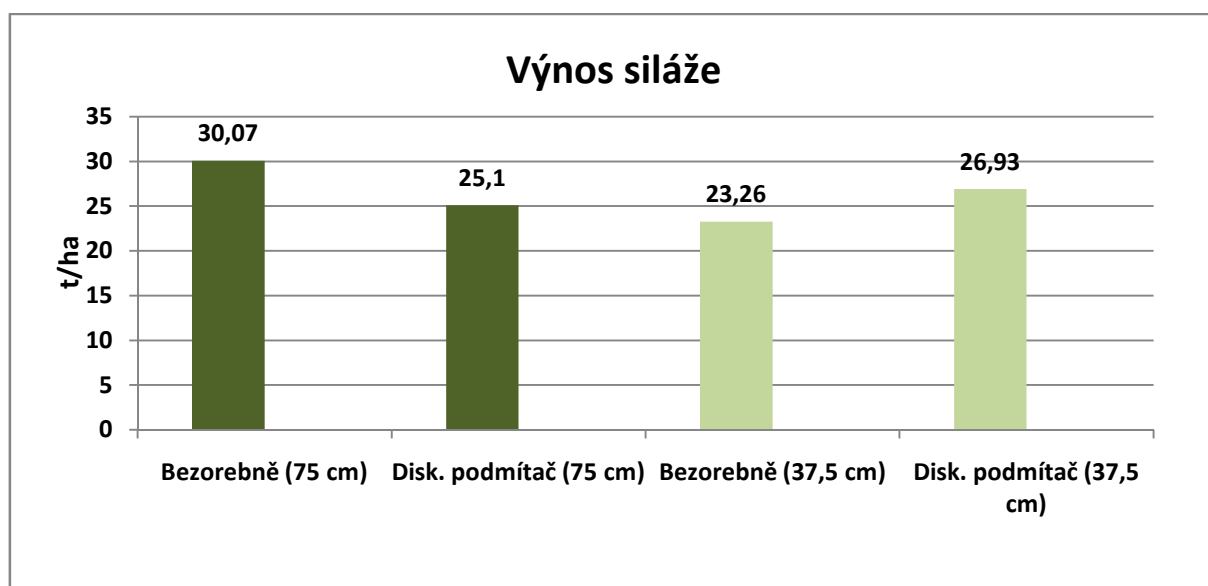
V tabulce č. 4 jsou uvedeny sledované výnosové parametry silážní kukuřice. Byly sledovány tyto parametry: výnos čerstvě sklizené hmoty, sušina, výnos přepočtený na 30 % sušiny.

Získané porovnané průměry jednotlivých variant nejsou statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  z důvodu menšího počtu opakování. To je dáno především časovou a finanční náročností jednotlivých měření, která sama o sobě představují reprezentativní hodnoty z pokusných ploch.

Varianta	výnos t/ha	sušina (%)	výnos (sušina 30%)
Bezorebně (75 cm)	30,07	35	28,57
Disk. podmítač (75 cm)	25,1	37,6	22,9
Bezorebně (37,5 cm)	23,26	37,3	21,56
Disk. podmítač (37,5 cm)	26,93	38,2	24,72

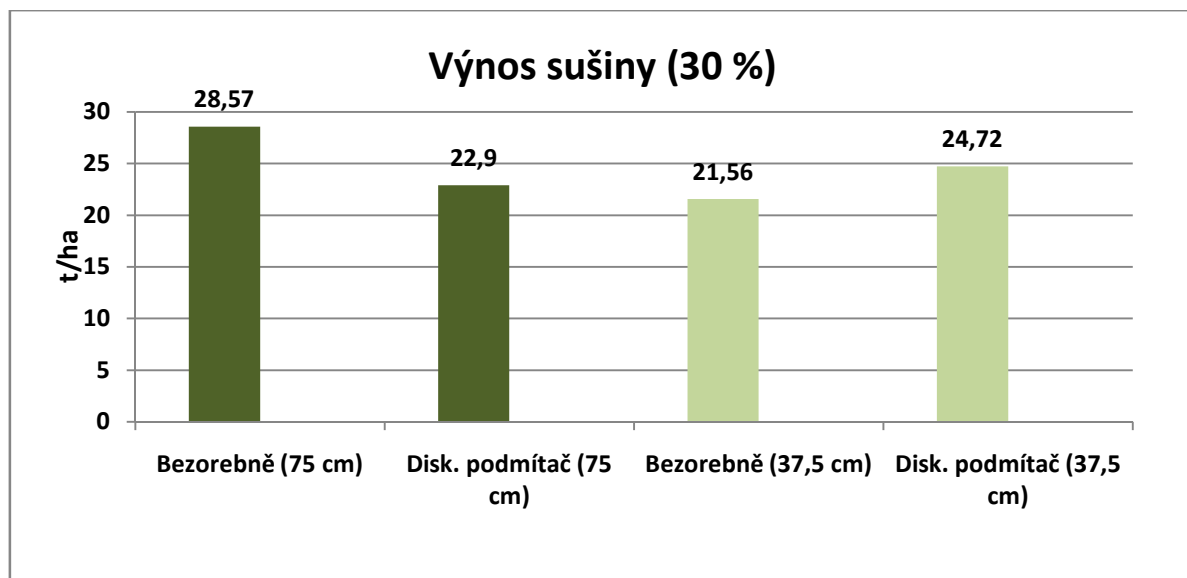
Tabulka č. 4 Výnosové parametry

U jednotlivých variant zpracování půdy i roztečí řádků byly zaznamenány výnosové rozdíly. Nejvyššího výnosu čerstvě sklizené hmoty bylo dosaženo u varianty s přímým setím do půdy, vzdáleností řádků 75 cm, konkrétně 30,07 t/ha. Nejmenší výnos naopak vykazuje varianta s přímým setím do půdy při vzdálenosti řádků 37,5 cm, pouze 23,26 t/ha (Graf č. 9).



Graf č. 9 Výnos siláže

Po přepočítání výnosu na 30 % sušiny bylo dosaženo nejvyššího výnosu u varianty s přímým setím do půdy, vzdáleností řádků 75 cm, konkrétně 28,57 t/ha. Nejmenší výnos naopak vykazovala varianta s přímým setím do půdy při vzdálenosti řádků 37,5 cm, konkrétně 21,56 t/ha (Graf č. 10).



Graf č. 10 Výnos sušiny (30 %)

## 6 Diskuse

### 6.1 Zpracování půdy

Cílem této diplomové práce bylo porovnání navrhovaných technologií pěstování kukuřice a následné vyhodnocení jednotlivých variant při simulaci deště. Jak z výsledků vyplývá, nejnižších hodnot ztráty půdy bylo dosaženo při přímém setí (no tillage). Konkrétně do meziplodiny, v tomto případě svazenky vratičolisté. Tyto výsledky se shodují s výsledky, které získali ve svých výzkumech při využití technologie no tillage i další autoři.

Laloy et al. (2010) zjistil, že při výsevu kukuřice technologií no tillage přímo do meziplodiny vykazovaly tyto pozemky o 40 - 90 % nižší ztrátu půdy erozí v porovnání s pozemky bez meziplodiny.

Naopak Terzoudi (2007) uvádí, že při využití technologie no tillage může dojít k vyššímu povrchovému odtoku, které je dle autora do jisté míry ovlivněno druhem půdy. V rámci svého experimentu však Terzoudi (2007) prokázal příznivý vliv technologie no tillage na velikost povrchového odtoku. K obdobným závěrům pak ve svém výzkumu došel i Santos et al. (2003).

Akinyemi et Adedeji (2004) sledovali vliv rozdílného zpracování půdy (zpracování půdy s orbou, no tillage a půdoochranné zpracování) na infiltraci vody do půdy. Z jejich výsledků je patrné, že u sledovaných technologií zpracování půdy byly značné rozdíly v infiltraci. Rozdíl mezi klasickým a půdoochranným zpracováním nebyl sice významný, ale no tillage technologie vykazovala výrazné rozdíly oproti dvěma předchozím a infiltrační schopnost u ní byla nejvyšší.

Tuto skutečnost potvrzuje řada autorů. Např. Tebrügge et Düring (1999) realizovali dlouhodobé pokusy na půdách, které byly obhospodařovány rozdílným způsobem, tedy orbou a bezorebně. Ve svém výzkumu došli k závěru, že u bezorebných metod zpracování půdy je rychlost infiltrace 1,2 až 2,6 krát vyšší, než jak je tomu při klasickém zpracování půdy s orbou.

Moreno et al. (1997) porovnával na šesti parcelkách o rozměrech 14 x 22 m konvenční zpracování půdy s orbou a půdoochranné technologie, přičemž na povrchu půdy byly ponechány posklizňové zbytky. Po tříletém systematickém půdoochranném zpracování půdy bylo zjištěno, že infiltrace povrchové vrstvy půdy byla vyšší při půdoochranném zpracování ( $124 \text{ mm}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) oproti tradičnímu zpracování půdy ( $66 \text{ mm}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).



Bezorebné technologie jako no tillage jsou dle mých výsledků přínosem také při snižování ztráty půdy. Přínos půdoochranných technologií na snižování ztráty půdy potvrzuje ve své práci Rasmussen (1999) i další autoři (Assouline et Ben-Hur 2003; Truman et al., 2005; Leys et al., 2007).

Společným znakem těchto půdoochranných technologií je ponechání organické hmoty na povrchu půdy. Vyšší přítomnost organické hmoty v podobě posklizňových zbytků má dle výsledků pozitivní vliv na snížení vodní eroze. K podobným závěrům došli ve svých výzkumech např. Edwards et al. (2000) a Hůla et al. (2008). Také Baumhard et Jones (2002) nebo Anken et al. (2004) toto zjištění potvrzují a zdůrazňují, že rostlinné zbytky ponechané na povrchu půdy snižují povrchový odtok dešťové vody. Johnson (1988) i Hanna et al. (1995) konstatují, že při pokrytí 20 až 30 % půdy posklizňovými zbytky v době setí lze dosáhnout snížení vodní eroze o 50 až 90 % v porovnání s povrchem půdy bez posklizňových zbytků.

## 6.2 Zadešťování

K zjištění hodnot ztráty půdy byl ve spolupráci s VÚMOP, v.v.i. využit polní simulátor deště. Podobnou metodu využil ve svých výzkumech například Hůla et al. (2010) při porovnání vlivu různých variant zpracování půdy na vodní erozi. Ve svém výzkumu zjistil pozitivní vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na snížení erozních procesů. Simulátor deště využil ve svém výzkumu také Zhang et al. (2014), který zjišťoval ztrátu půdy na parcelkách o výměře 1 m<sup>2</sup> při intenzitě zadešťování 90 mm·h<sup>-1</sup>. V této diplomové práci byla k zadešťování použita tryska 30 WSQ, tlak 0,5 baru. Intenzita srážek činila 1,02 mm za minutu a úhrn srážek činil 20,5 mm za 20 minut.

Tuan et al. (2014) uvádí, že důležitou roli při erozním procesu hraje také pokrytí půdy vegetací. Se snižujícím se pokrytím půdy vegetací se vliv eroze zvyšuje. Kisic et al. (2010) zjistil, že největší riziko eroze je u kukuřice na počátku vegetace. Při svém výzkumu porovnal vliv různého zpracování půdy na erozi. Došel k závěru, že u všech zkoumaných technologií zpracování půdy byla největší ztráta půdy na počátku vegetačního období, kdy dosahovala až 70 % celkové roční ztráty půdy.

### 6.3 Výnos biomasy

V rámci této diplomové práce byl kromě sledování a vyhodnocení vlivu vybraných technologií zpracování půdy na vodní erozi hodnocen také výnos biomasy. Lze konstatovat, že mezi jednotlivými variantami byly zjištěny výnosové rozdíly. Tyto rozdíly bylo možné pozorovat jak mezi jednotlivými technologiemi zpracování půdy, tak v rámci klasické rozteče 75 cm a alternativní rozteče 37,5 cm.

U varianty zpracování půdy diskovým podmičákem bylo vyššího výnosu dosaženo při alternativní rozteči řádků 37,5 cm. Právě úzké řádky jsou zkoumanou alternativou při zakládání porostů kukuřice, jejichž vliv na zvýšení výnosů zkoumala řada autorů. Např. Borghi et al. (2012) zjistil vyšší výnos u alternativních roztečí v porovnání s klasickými roztečemi řádků. Také zjistil, že rozteč řádků neovlivnila příjem živin či kvalitu produkované píče. Gözübenli (2010) došel ve své práci, ve které porovnával výnosy konvenčních a alternativních roztečí řádků u kukuřice, k podobným závěrům.

Při šířce řádků 75 cm dosáhla nejvyššího výnosu varianta přímého výsevu do meziplodiny. Výnosově dokonce překonala obdobnou variantu s alternativní roztečí. To může být dle Cox et al. (2006) dáno lepší propustností a lepším využitím sluneční energie rostlinami v řidších porostech.

Cox et Cherney (2001) uvádí, že při používání bezorebného setí a „strip-till“ technologie jsou klasické rozteče vhodnější oproti užším řádkům. Tyto technologie jsou u užších řádků obtížněji realizovatelné a dochází k nárůstu výskytu chorob a škůdců. To plně odpovídá výsledkům mého výzkumu, neboť právě při bezorebném setí do řádků s roztečí 37,5 cm bylo dosaženo nejnižšího výnosu.

## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo analyzovat vybrané půdoochranné technologie v porostu kukuřice v podniku ZD Krásná Hora nad Vltavou a. s. z pohledu jejich vlivu na vodní erozi půdy a na produkci biomasy. Analyzovány byly technologie zpracování půdy diskovým podmítačem, přímé setí do vymrznuté meziplodiny a jako kontrola byl založen úhor. Dále byly analyzovány dvě meziřádkové vzdálenosti založení porostu a to konkrétně 37,5 cm a 75 cm.

Jednotlivé varianty byly ve třech termínech podrobeny simulaci deště. Výsledky z těchto simulací byly následně mezi sebou porovnány z hlediska ztráty půdy a infiltrace. Dále byly jednotlivé varianty mezi sebou porovnány také z hlediska výnosu biomasy.

Z výsledků práce lze vyvodit následující závěry:

- Na počátku vegetačního období vykazují porosty kukuřice seté bezorebným způsobem prokazatelný vliv na snížení erozního smyvu ve srovnání s porosty setými konvenčním způsobem.
- Jednoznačně se projevuje efekt pokrytí půdy rostlinnými zbytky v době, kdy porost hlavní plodiny není dostatečně zapojen.
- Následná měření poukazují na pozitivní účinek zapojení porostu na snížení ztráty půdy u bezorebných i ostatních variant.
- Samotné porosty s užšími řádky však vykazují nepatrný nebo žádný efekt na snížení erozního smyvu a množství povrchového odtoku.
- Největšího výnosu biomasy bylo dosaženo u varianty s šířkou 75 cm, a to u technologie setí do vymrzající meziplodiny.
- Z výsledků práce je patrný pozitivní efekt bezorebné technologie pěstování kukuřice ať už v úzkém, či širokém řádku, která je efektivní především na počátku vegetačního období, které je pro kukuřici nejproblematičtější.

## 8 Seznam literatury

- **Akinyemi, J. O., Adedeji, A. O. 2004.** Water Infiltration Under No-tillage. Minimum Tillage and Conventional Tillage Systems on a Sandy Loam Alfisols. In: 2004 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers. Ottawa. Canada. Paper Number: 042111.
- **Allton, K. E. 2006.** Interactions Between Soil Microbial Communities, Erodibility and Tillage Practices. PhD. Thesis. Cranfield University. Cranfield. p. 224.
- **Anken, T., Weiskopf, P., Zihlmann, U., Forrer, H., Jansa, J., Perhacova, K. 2004.** Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland. *Soil and Tillage Research*. 78 (2). 171-183.
- **Assouline, S., Ben-Hur, M. 2003.** Effects of water applications and soil tillage on water and salt distribution in a Vertisol. *Soil Science Society of America Journal*. 67 (3). 852-858.
- **Baker, C. J., Saxton, K. E., Ritchie, W. R. 1996.** No-tillage seeding. Science and practice. CAB International. Wallingford. p. 258. ISBN: 0-85199-103-3.
- **Balcom, K. S., Satterwhit, J. L., Arriaga, F. J., Price, A. P., Santen, E. V. 2010.** Conventional and glyphosate-resistant maize yields across plant densities in single- and twin-row configurations. *Field Crops Research*. 120 (3). 330-337.
- **Baumhardt, R. L., Jones, O. R. 2002.** Residue management and paratillage effects on some soil properties and rain infiltration. *Soil and Tillage Research*. 65 (1). 19-27.
- **Bazzoffi, P., Gardin, L. 2011.** Effectiveness of the GAEC standard of cross compliance retain terraces on soil erosion control. *Italian Journal of Agronomy*. 6 (1). 43-51.
- **Blanco - Canqui, H., Lal, R. 2010.** Principles of soil conservation and management. Springer Science & Business Media. Berlin. p. 616. ISBN: 978-90-481-8529-0.
- **Boardman, J., Poesen, J. 2006.** Soil Erosion in Europe: Major Processes, Causes and Consequences. Soil Erosion in Europe. John Wiley & Sons. Chichester. p. 477. ISBN: 978-0-470-85910-0.
- **Bodnár, F., Spaan, W., Hulshof, J. 2007.** Ex-post evaluation of erosion control measures in southern Mali. *Soil and Tillage Research*. 95 (1-2). 27-37.

- **Borghi, E., Crusciol, C. A. C., Nascente, A. S., Mateus, G. P., Martins, P. O., Costa, C. 2012.** Effects of row spacing and intercrop on maize grain yield and forage production of palisade grass. *Crop and Pasture Science*. 63 (11-12). 1106-1013.
- **Bosch, D. D., Sullivan, D. G., Sheridan, J. M. 2006.** Hydrologic impacts of land-use changes in coastal plain watersheds. *Transactions of the ASABE*. 49 (2). 423-432.
- **Brady, N. C., Weil, R. R. 2002.** The nature and properties of soil. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey. p. 960. ISBN: 978-0132279383.
- **Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Záborský, P. 2011.** Eliminace vodní eroze - obecné principy. *Farmář*. 17 (12). 21-23.
- **Brant, V., Záborský, P., Pivec, J., Gernerlová, M., Kroulík, M. 2013.** Distribuce srážek v porostech kukuřice seté. *Agromanuál*. 8 (5). 87-89.
- **Brant, V., Záborský, P., Škeříková, M., Pivec, J., Kroulík, M., Poláková, M., Šilha, J. 2015.** Pěstování kukuřice systémem Samco v České republice. *Agromanuál*. 10 (11-12). 90-95.
- **Brtnický, M., Vopravil, J., Vrabcová, T., Hladký, J., Khel, T., Novák, P., Vlček, V., Kinický J. 2012.** Degradace půdy v České republice. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Praha. 91 s. ISBN: 978-80-87361-20-7.
- **Cerdà, A., Morera, A. G., Bodí, M. B. 2009.** Soil and water losses from new citrus orchards growing on sloped soils in the western Mediterranean basin. *Earth Surface Processes and Landforms*. 34 (13). 1822-1830.
- **Cox, W. J., Cherney, J. H. 2001.** Row spacing, plant density, and nitrogen effects on corn silage. *Agronomy Journal*. 93 (3). 597-602.
- **Cox, W. J., Hanchar, J. J., Knoblauch, W. A., Cherney, J. H. 2006.** Growth, yield, quality and economics of corn silage under different row spacings. *Agronomy Journal*. 98 (1). 163-167.
- **Deumlich, D., Funk, R., Frielinghaus, M., Schmidt, W. A., Nitzsche, O. 2006.** Basics of effective erosion control in German agriculture. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 169 (3). 370-381.

- **Doležal, P., Zeman, L. 2008.** Silážní kukuřice. In: Zimolka, J. (ed.) Kukuřice - hlavní a alternativní užitkové směry. Profi Press, s.r.o. Praha. 137-149 s. ISBN 978-80-86726-31-1.
- **Dufková, J., Toman, F. 2004.** Eroze půdy v podmínkách klimatické změny. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds). Seminář „Extrémy počasí a podnebí“. Český hydrometeorologický ústav. Brno. 42 s. ISBN: 80-86690-12-1.
- **Dufková J. 2007.** Krajinné inženýrství. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno. 206 s. ISBN: 978-80-7375-112-8.
- **Dumbrovský, M., Milerski, R. 2005.** Vodní hospodářství krajiny II. VUT Brno. Brno. 233 s.
- **Edwards, L. M., Volk, A., Burney, J. R. 2000.** Mulching potatoes: Aspects of mulch management systems and soil erosion. *American Journal of Potato Research*. 77 (4). 225-232.
- **Fallahi, S., Raoufat, M. H. 2008.** Row-crop planter attachments in a conservation tillage system. A comparative study. *Soil and Tillage Research*. 98 (1). 27-34.
- **Feil, B., Garibay, S. V., Ammon, H. U., Stamp, P. 1997.** Maize production in a grass mulch system - seasonal patterns of indicators of the nitrogen status of maize. *European Journal of Agronomy*. 7 (1-3). 171-179.
- **Field, C. B., Campbell, J. E., Lobell, D. B. 2008.** Biomass energy: the scale of the potential resource. *Trends in Ecology & Evolution*. 23 (2). 65-72.
- **Fuksa, P., Hakl, J., Koucourková, D., Veselá, M. 2004.** Influence of weed infestation on morphological parameters of maize. *Plant Soil and Environment*. 50 (8). 371-378.
- **Garibay, S. V., Stamp, P., Ammon, H. U., Fail, B. 1997.** Yield and quality components of silage cover crop sods maize in killed and live. *European Journal of Agronomy*. 6 (3-4). 179-190.
- **Gözübenli, H. 2010.** Influence of planting patterns and plant density on the performance of maize hybrids in the eastern Mediterranean conditions. *Internacional Journal of Agriculture and Biology*. 12 (4). 556-560.

- **Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., Li, Y. 2005.** Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in Physical Geography*. 29 (2). 189-217.
- **Hanna, H. M., Melvin, S. W., Pope, R. O. 1995.** Tillage implement operational effects on re-sidue cover. *Applied Engineering in Agriculture*. 11 (2). 205-210.
- **Herrera, J. M., Verhulst, N., Trethowan, R. M., Stamp, P., Govaerts, B. 2013.** Insights into genotype × tillage interaction effects on the grain yield of wheat and maize. *Crop Science*. 53 (5). 1845-1859.
- **Hochholdinger, F. 2009.** The maize root system: morphology, anatomy, and genetics. In: Bennetzen, J. L., Hake, S. C. (eds.). *Handbook of maize: Its biology*. Springer. New York. p. 145-160. ISBN: 978-0-387-79417-4.
- **Holubová, K. 2002.** Obiloviny. In: Valíček, P. (ed.). *Užitkové rostliny tropů a subtropů*. Academia Praha. Praha. 87-88 s. ISBN: 880-200-0939-6.
- **Holý, M. 1994.** Eroze a životní prostředí. Vydavatelství ČVUT. Praha. 383 s. ISBN: 80-01-01078-3.
- **Hůla, J., Abrahám, Z., Bauer, F. 1997.** Zpracování půdy. Nakladatelství Brázda s.r.o. Praha. 144 s. ISBN: 80-209-0265-1.
- **Hůla, J., Janeček, M., Kovaříček, P., Bohuslávek, J. 2003.** Agrotechnická protierozní opatření. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Praha. 48 s. ISBN: 1211-3972.
- **Hůla, J., Janeček, M., Kovaříček, P., Bohuslávek, J. 2005.** Agrotechnical erosion control measures. Reserch Institute for Soil and Water Conservation. Praha. p. 48. ISBN: 80-239-5108-4.
- **Hůla, J. a kol. 2008.** Minimalizace zpracování půdy. Profi Press. Praha. 248 s. ISBN: 978-80-86726-28-1.
- **Hůla, J. 2010.** Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí: uplatněná certifikovaná metodika. Výzkumný ústav zemědělské techniky. Praha. 58 s. ISBN: 978-80-86884-53-0.
- **Chapman, G. P. 1996.** The biology of grasses. Cab International. Wallingford. p. 273. ISBN: 0851991114.

- **Chmelová, R., Šarapatka, B. 2002.** Soil erosion by water: Contemporary research methods and their use. *Geographica*. 37. 23-30.
- **Jakubec, M. 2013.** Pestovanie kukurice dvojriadkovou metódou. *Naše pole*. 17 (4). 24-25.
- **Janeček, M., Bohuslávěk, J., Gergel, J., Hrádek, F., Kovář, P., Kubátová, E., Pasák, V., Pivcová, J., Tipl, M., Toman, O., Váška, J. 2002.** Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství. Praha. 201 s. ISBN: 85866-85-8.
- **Johnson, R. R. 1988.** Soil engaging tool effects on surface residue and roughness with chisel-type implements. *Soil Science Society of America Journal*. 52 (1). 237-243.
- **Karlen, D. A., Cambardella, C. A., Kovar J. L., Colvin, T. S. 2013.** Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. *Soil and Tillage Research*. 133 (6). 56-65.
- **Kisic, I., Basic, F., Nestroy, O., Sabolic, M. 2010.** Soil erosion under different tillage and cropping systems in central Croatia. In: Zlatic, M. (ed.). *Global change-challenges for soil management*. Catena Verlag. Serbia. p. 141-149. ISBN: 978-3-923381-57-9.
- **Knighton, D. 2014.** Fluvial forms and processes: a new perspective. Routledge. New York. p. 382. ISBN: 978-0-340-66313-4.
- **Kramberger, B., Gselman, A., Janzekovic, M., Kaligalic, M., Bracko, B. 2009.** Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. *European Journal of Agronomy*. 31 (2). 103-109.
- **Krauss, M., Berner, A., Burger, D., Wiemken, A., Niggli, A., Mäder, P. 2010.** Reduced tillage in temperate organic farming: implications for crop management and forage production. *Soil Use and Management*. 26 (3). 12-20.
- **Kvítek, T., Tipl, M. 2003.** Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 47 s. ISBN: 80-7271-140-7.
- **Lal, R. 2001.** Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*. 12 (6). 519-539.



- **Laloy, E., Bidders, C. L. 2010.** Effect of intercropping period management on runoff and erosion in a maize cropping system. *Journal of Environmental Quality*. 39 (3). 1001-1008.
- **Leys, A., Govers, G., Gillijns, K., Poesen, J. 2007.** Conservation tillage on loamy soils: explaining the variability in interrill runoff and erosion reduction. *European Journal of Soil Science*. 58 (6). 1425-1436.
- **Li - Min, Z. 2011.** Ridge-furrow and plastic-mulching tillage enhances maize-soil interactions: Opportunities and challenges in a semiarid agroecosystem. *Field Crops Research*. 126 (2). 181-188.
- **Liu, K., Wiatrak, P. 2012.** Corn production response to tillage and nitrogen application in dry - land environment. *Soil and Tillage Research*. 124 (8). 138-143.
- **Maddoni, G. A., Cirilo, A. G., Otegui, M. E. 2006.** Row width and maize grain yield. *Agronomy Journal*. 98 (6). 1532-1543.
- **Martins J. D., Rodrigues, G. C., Paredes, P., Carlesso, R., Oliveira, Z. B., Knies, A. E., Pereira, L. S. 2013.** Dual crop coefficients for maize in southern Brazil: Model testing for sprinkler and drip irrigation and mulched soil. *Biosystems Engineering*. 115 (3). 291-310.
- **Mekonnen, M., Keesstra, S. D., Stroosnijder, L., Baartman, J. E., Maroulis, J. 2015.** Soil conservation through sediment trapping: a review. *Land Degradation & Development*. 26 (6). 544-556.
- **Montenegro, A. A. A., Abrantes, J. R. C. B., de Lima, J. L. M. P., Singh, V. P., Santos, T. E. M. 2013.** Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena*. 109 (11). 139-149.
- **Moreno, F., Pelegrín, F., Fernández, J. E., Murillo, J. M. 1997.** Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil and Tillage Research*. 41 (1). 25-42.
- **Morgan, R. P. C. 2005.** Soil erosion & conservation. Blackwell Publishing. Oxford, U. K. p. 304. ISBN: 1-4051-1781-1.

- **Moussavi N. M., Babaeian M., Tavassoli A., Asgharzade, A. 2011.** Effect of plant density on yield and yield components of corn hybrids (*Zea mays*). *Scientific Research and Essays*. 6 (22). 4821-4825.
- **Mupangwa, W., Twomlow, S., Walker S. 2012.** Reduced tillage, mulching and rotational effects on maize (*Zea mays* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) yields under semi-arid conditions. *Field Crops Research*. 132 (6). 139-148.
- **Murphy, S. D., Yakubu, Y., Weise, S. F., Swanton, C. J. 1996.** Effect of planting patterns and inter-row cultivation on competition between corn and late emerging weeds. *Weed Science*. 44 (4). 865-870. *Soil Science Society of America Journal*
- **Nash, P. R., Nelson, K. A., Motavalli, P. P. 2013.** Corn yield response to timing of strip-tillage and nitrogen source applications. *Agronomy Journal*. 105 (3). 623-630.
- **Novotný, I. a kol. 2014.** Příručka ochrany proti vodní erozi. Ministerstvo zemědělství. Praha. 73 s. ISBN: 978-80-87361-33-7.
- **Nyamadzawo, G., Shukla, M. K., Lal, R. 2008.** Spatial variability of total soil carbon and nitrogen stocks for some reclaimed minesoils of Southeastern Ohio. *Land Degradation & Development*. 19 (3). 275-288.
- **Pimentel, D. 2006.** Soil erosion: a food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability*. 8 (1). 119-137.
- **Podhrázská J., Dufková J. 2005.** Protierozní ochrana půdy. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno. 99 s. ISBN: 80-7157-856-8.
- **Procházková, B. 2008.** Minimalizační a půdoochranné technologie pro hlavní plodiny v podmínkách ČR-kukuřice. In: Hůla, J. (ed.). Minimalizace zpracování půdy. Profi Press s.r.o. Praha. s. 147-154. ISBN: 978-80-86726-28-1.
- **Rasmussen, K. J. 1999.** Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil and Tillage Research*. 53 (1). 3-14.
- **Rebourg, C., Chastanet, M., Gouesnard, B., Welcker, C., Dubreuil, P., Charcosset, A. 2003.** Maize introduction into Europe: the history reviewed in the light of molecular data. *Theoretical Applied Genetics*. 106 (5). 895-903.

- **Reeder, R. C., Wood, R. K, Finck, C. L. 1993.** 5 subsoiler designs and their effects on soil properties and crop yields. *Transaction of the Asae.* 36 (6). 1525-1531.
- **Ritz, K., Young, I. M. 2004.** Interactions between soil structure and fungi. *Mycologist.* 18 (2). 52-59.
- **Robles, M., Ciampitti, I. A., Vyn, T. J. 2012.** Responses of maize hybrids to twin-row spatial arrangement at multiple plant densities. *Agronomy Journal.* 104 (6). 1747-1756.
- **Santos, F. L., Reis, J. L., Martins, O. C., Castanheira, N. L., Serralheiro, R. P. 2003.** Comparative Assessment of Infiltration, Runoff and Erosion of Sprinkler Irrigated Soils. *Biosystems Engineering.* 86 (3). 355-364.
- **Shakesby, R. A., Doerr, S. H. 2006.** Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews.* 74 (3). 269-307.
- **Sims, R. E., Hastings, A., Schlamadinger, B., Taylor, G., Smith, P. 2006.** Energy crops: current status and future prospects. *Global Change Biology.* 12 (11). 2054-2076.
- **Sklenička, P. 2003.** Základy krajinného plánování. Naděžda Skleničková. Praha. 321 s. ISBN: 80-903206-1-9.
- **Soukup, M. (ed.) 2008.** Biotechnická opatření v krajině pro zvýšení retence vody na odvodněných pozemcích v pramenných oblastech: metodika a katalog navrhovaných opatření. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Praha. 82 s. ISBN: 978-80-904027-2-0.
- **Šedek, A. 2011.** Setí kukuřice v souladu s pravidly GAEC. *Agromanuál.* 6 (3). 73.
- **Šimon, J., Škoda, V., Hůla, J. 1999.** Zakládání porostů hlavních polních plodin novými technologiemi. Agrospoj. Praha. 77 s. ISBN: 80-239-4240-9.
- **Škoda, V., Cholenský J. 2002.** Konvenční a perspektivní způsoby zpracování a kultivace půdy. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 64 s. ISBN: 80-7271-125-3.
- **Šuk, J., Balík, J., Jakobe, P., Jambor, V., Kohout, V., Loučka, R., Táborský, V., Vrzal, J. 1998.** Kukuřice. VP AGRO s.r.o. Kněžves. 129 s. ISBN: 80-86153-99-1.

- **Švehla, F., Vaňous, M. 1995.** Pozemkové úpravy. České vysoké učení technické. Praha. 146 s. ISBN: 80-01-01277-8.
- **Taye, G., Poesen, J., Vanmaercke, M., van Wesemael, B., Martens, L., Teka, D., Nyssen, J., Deckers, J., Vanacker, V., Heregeweyn, N., Hallet, V. 2015.** Evolution of the effectiveness of stone bunds and trenches in reducing runoff and soil loss in the semi-arid Ethiopian highlands. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 59 (4). 477-493.
- **Tebrügge, R. A., Düring, R. A. 1999.** Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research*. 53 (1). 15-28.
- **Temesgen, M., Savenije, H. H. G., Rockström, J., Hoogmoed, W. B. 2012.** Assessment of strip tillage systems for maize production in semi-arid Ethiopia: Effects on grain yield, water balance and water productivity. *Physics and Chemistry of the Earth*. 47-48. 155-165.
- **Terzoudi, C. B., Gemtos, T. A., Danalatos, N. G., Argyrokastritis, I. 2007.** Applicability of an empirical runoff estimation method in central Greece. *Soil and Tillage Research*. 92 (1). 198-212.
- **Titi, E. A. 2003.** Soil tillage in agroecosystems. CRC Press LLC. Boca Raton, USA. p. 367. ISBN: 0-8493-1228-0.
- **Trevini, M., Benincasa, P., Gueducci, M. 2013.** Strip tillage effect on seedbed tillage and maize production in Northern Italy as case-study for the Southern Europe environment. *European Journal of Agronomy*. 43. 50-56.
- **Troech, F. R., Hobbs, J. A., Donahue, R. L. 1991.** Soil and water conservation. Prentice-Hall Inc. N.J., USA. p. 530. ISBN: 013830324X.
- **Truman, C. C., Shaw, J. N., Reeves, D. W. 2005.** Tillage effects on rainfall partitioning and sediment yield from an ultisol in central Alabama. *Journal of Soil and Water Conservation*. 60 (2). 89-98.
- **Tuan, V. D., Hilger, T., MacDonald, L., Clemens, G., Shiraishi, E., Vien, T. D., Cadisch, G. 2014.** Mitigation potential of soil conservation in maize cropping on steep slopes. *Field Crops Research*. 156. 91-102.

- **Turgut, I., Duman, A., Bigili, U., Acikgos, E. 2004.** Alternate row spacing and plant density effects on forage and dry matter yield of corn hybrids (*Zea mays* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 191 (7). 146-151.
- **Vaněk, V., Balík J., Pavlíková D., Tlustoš P. 2007.** Výživa a hnojení polních a zahradních plodin. Profi Press. Praha. 167 s. ISBN: 978-80-86726-25-0.
- **Váňová, M., Matušinský, P., Javůrek, M., Vach, M. 2011.** Effect of soil tillage practices on severity of selected diseases in winter wheat. *Plant Soil Environment*. 57 (6). 245-250.
- **Verheijen, F. G., Jones, R. J., Rickson, R. J., Smith, C. J. 2009.** Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*. 94 (1). 23-38.
- **Virto, I., Imaz, M. J., Fernández-Ugalde, O., Gartzia-Bengoetxea, N., Enrique, A., Bescansa, P. 2014.** Soil degradation and soil quality in Western Europe: current situation and future perspectives. *Sustainability*. 7 (1). 313-365.
- **Vogel, E., Detlef D., Kuupenjohann M. 2016.** Bioenergy maize and soil erosion. Risk - assessment and erosion control concepts. *Geoderma*. 261. 80-92.
- **Volk, M., Möller, M., Wurbs, D. 2010.** A pragmatic approach for soil erosion risk assessment within policy hierarchies. *Land Use Policy*. 27 (4). 997-1009.
- **Vopravil, J., Khel, T., Havelková, L., Batysta, M. 2013.** Studie zabývající se základní problematikou eroze půdy a jejím současným stavem v Ústeckém a Jihomoravském kraji České republiky. SOWAC, s. r. o. Praha. 51s.
- **Williams, J. D., Dobrowolski, J. P., West, N. E., Gillette, D. A. 1995.** Microphytic crust influence on wind erosion. *Transactions of the ASAE*. 38 (1). 131-137.
- **Wischmeier, W. H., Smith, D. D. 1978.** Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. *U. S. Department of Agriculture, Agriculture*. p. 58.
- **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
- **Zhao, X., Wu, P., Gao, X., Persaud, N. 2015.** Soil quality indicators in relation to land use and topography in a small catchment on the Loess Plateau of China. *Land Degradation & Development*. 26 (1). 54-61.

- **Zhang, G. S., Chan, K. Y., Oates, A., Heenan, D. P., Huang, G. B. 2007.** Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage. *Soil and Tillage Research*. 92 (1). 122-128.
- **Zhang, G., Liu, G., Zhang, P., Yi, L. 2014.** Influence of vegetation parameters on runoff and sediment characteristics in patterned *Artemisia capillaris* plots. *Journal of Arid Land*. 6 (3). 352-360.
- **Zhou, Z. C., Shangguan, Z. P., Zhao, D. 2006.** Modeling vegetation coverage and soil erosion in the Loess Plateau Area of China. *Ecological modelling*. 198 (1). 263-268.
- **Zimolka, J. 2008.** Kukuřice - hlavní a alternativní užitkové směry. Profi Press s.r.o. Praha. 200 s. ISBN: 978-80-86726-31-1.

### Internetové zdroje:

- **Český statistický úřad.** *Osevní plochy zemědělských plodin (stav k 31. 5. 2015)* [online]. 20. 12. 2015 [cit. 2015-12-20]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/35323580/320198151305.xlsx/f604c634-c327-4001-870a-380f4327cfa0?version=1.1>
- **Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR.** *Obnovitelné zdroje energie v roce 2014* [online]. 12. 01. 2016 [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: <http://download.mpo.cz/get/54506/62316/647573/priloha001.pdf>
- **Ministerstvo zemědělství ČR.** *Příručka ochrany proti vodní erozi* [online]. 28. 2. 2014 [cit. 2015-11-27]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/ochrana-pudy/eroze-pudy/prirucka-ochrany-proti-vodni-erozi.html>
- **Ministerstvo zemědělství ČR.** *Průvodce zemědělce Kontrolou podmíněnosti platný pro rok 2015* [online]. 05. 05. 2015 [cit. 2015-11-27]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/400735/Kontrola\\_podminenosti\\_2015\\_pro\\_web\\_nove.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/400735/Kontrola_podminenosti_2015_pro_web_nove.pdf)
- **StatSoft, Inc. 2013.** *[STATISTICA] (softwarový program vyhodnocující data), verze 12.* [cit. 2015-10-03]. Dostupné z: <[www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)>.
- **VÚMOP, v. v. i.** *Statistická ročenka půdní služby* [online]. 2015 [cit. 2015-10-21]. Dostupné z: <http://statistiky.vumop.cz/?core=account>
- **Zea.** *Klasika versus nové trendy v seti kukuřice* [online]. 8. 4. 2013 [cit. 2016-03-06] Dostupné z: <http://www.zea.cz/kukurice/klasika-versus-nove-trendy-v-seti-kukurice/>

## 9 Seznam zkratek

DPB - díly půdních bloků

DZES - dobrý zemědělský a environmentální stav

EFA - *Ecological Focus Area* - plochy v ekologickém zájmu

FAO - *Food and Agriculture Organization* - číslo ranosti hybridu

GAEC - *Good Agricultural and Environmental Conditions* - dobrý zemědělský a environmentální stav

LPIS - *Land Parcel Identification System* - identifikační systém půdních bloků/registr půdních bloků

SEO - silně erozně ohrožené půdy

SMR 2 - *Statutory Management Requirements* - povinné požadavky na hospodaření

SZIF - Státní zemědělský intervenční fond

MEO - mírně erozně ohrožené půdy

MPO - Ministerstvo průmyslu a obchodu

ÚKZÚZ - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

ÚSES - územní systém ekologické stability

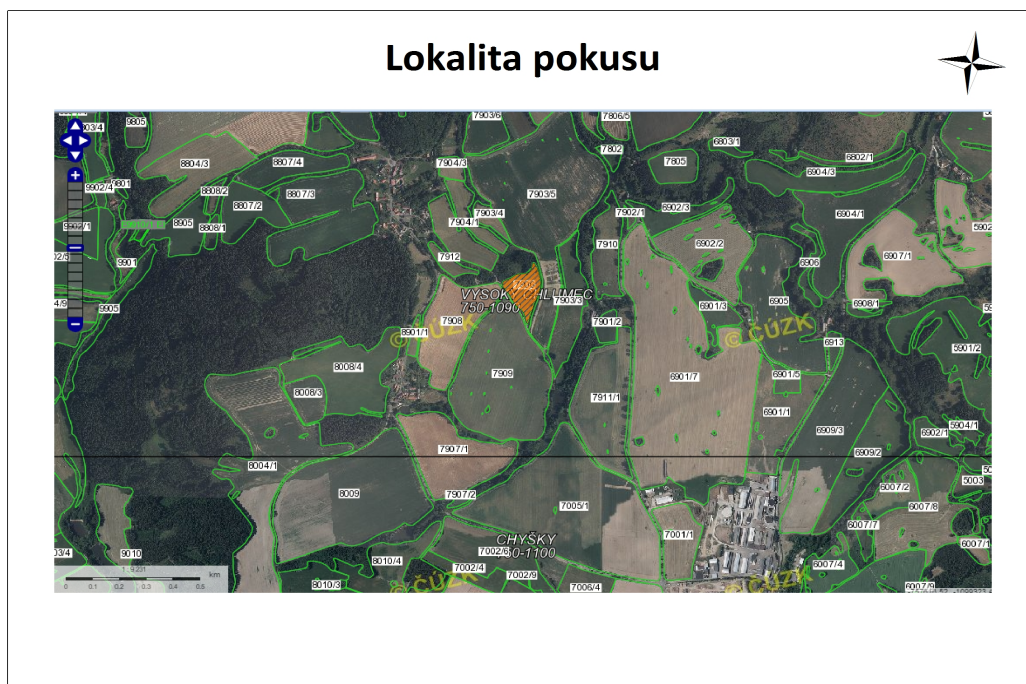
USLE - *Universal Soil Loss Equation* - universální rovnice ztráty půdy

VÚMOP - Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd



# 10 Přílohy

## Příloha č. 1. Lokalizace pokusné plochy



## Příloha č. 2 Porosty založené s roztečí 75 cm (vlevo) respektive s roztečí 37,5 cm (vpravo)



### Příloha č. 3 Simulátor deště



### Příloha č. 4 Sklízecí řezačka



**Příloha č. 5 Sklizeň kukuřice**

