

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a biometeorologie



Vliv struktury porostů kukuřice seté na hodnoty kapkové eroze

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Stanislava Vopolková

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

2017 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci Vliv struktury porostů kukuřice seté na hodnoty kapkové eroze jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce Doc. Ing. Václava Branta, Ph.D. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 11.4.2017

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Doc. Ing. Václavu Brantovi, Ph.D. za cenné připomínky a trpělivost při vedení a konzultování mé diplomové práce a Ing. Michaelle Škeříkové za cenné rady a připomínky. Dále bych chtěla poděkovat rodině, mému příteli a přátelům, kteří mě při psaní této práce podporovali. V neposlední řadě patří dík i mým kolegům, kteří mi byli nápomocni a velkou podporou.

Vliv struktury porostů kukuřice seté na hodnoty kapkové eroze

Souhrn

Nikdo z nás nemůže žít bez vody, vzduchu, slunečního záření a živin. Málokdo si však uvědomuje, že stejně tak důležitá je i půda. Jelikož půda je základním lidským pilířem, je neobnovitelným přírodním zdrojem, bez kterého by život nemohl existovat. V současné době velmi často dochází k znehodnocování půdy a nenávratnému poškození. Degradace půdy vodní erozí je významným činitelem snižujícím produkční i mimoprodukční potenciál půdy. Eroze půdy je významným celosvětovým problémem, jelikož má mnohdy až tragické dopady na půdu a krajinu. A právě kapková eroze je všeobecně považována za základ erozních procesů na orné půdě. Dopad dešťových kapek je spojen se změnou struktury povrchu půd. Za hlavní důsledek můžeme označit rozrušení a uvolnění půdních částic. Nejmenší ochranu proti erozi půdy poskytují širokořádkové plodiny, kam patří kukuřice setá. Plochy kukuřice seté v podmínkách České republiky postupně narůstají, a proto je důležité hledat efektivní ochranné způsoby pěstování a nové metody zakládání porostů.

V letech 2012, 2013 a 2014 byly založeny pokusy v obci Budihostice, jejichž cílem bylo na základě přesných polních experimentů stanovit vliv rozdílné struktury porostů kukuřice seté na hodnoty kapkové eroze. V pokusech bylo testováno snížení šířky řádků z 0,75 m na 0,45 m. Jedná se o novou metodu zakládání porostů kukuřice seté, jenž by mohla napomáhat eliminaci eroze. Pomocí metody záchytných trychtýřů byl hodnocen vliv snížení šířky řádků na hodnoty kapkové eroze (*MSR*). Dále byl posuzován vztah mezi sumou srážek (P) a porostní srážkou (P_{th}); vztah mezi sumou srážek (P), porostní srážkou (P_{th}) a kapkovou erozí (*MSR*).

Výsledky pokusu prokázaly, že snížení šířky řádků z 0,75 m na 0,45 m vede ke snížení hodnot kapkové eroze. Pěstování kukuřice v užších řádcích brání propadu srážkové vody na půdu, čímž eliminuje její degradaci způsobenou rozpadem půdních částic. Technologie pěstování kukuřice seté v užších řádcích je v našich podmínkách doposud považována za novou metodu a prozatím zemědělci není příliš aplikovaná. Na základě pozitivních výsledků získaných z pokusu by měla být metoda aplikována, aby nedocházelo k dalšímu znehodnocování zemědělské půdy.

Klíčová slova: kukuřice setá, struktura porostu, kapková eroze, porostní srážka, srážková voda

The effect of maize crop structure on the values of splash erosion

Summary

None of us can live without water, air, sunshine and nutrients. Hardly anybody, however, realizes soil is as well important. As soil is a basic human mainstay and it is a non-renewable natural resource without which the life could not exist. At present there very often comes to soil destroying and its irretrievable damage. Soil degradation with water erosion is a significant agent decreasing production and off-production soil potential. Soil erosion is an important worldwide problem because it often has even tragic impact on soil and landscape. And it is just a splash erosion which is generally considered to be the basis of erosion processes in arable land. Rain drops falling is connected with a change of soil surface structure, as the main consequence can be determined soil elements disruption and release. The least protection against soil erosion is provided by wide line plants, including maize soil tillage. Areas of maize soil tillage in the conditions of the Czech Republic gradually grow therefore it is important to seek effective protective ways of growing and new methods of vegetation placing.

In the years of 2012, 2013 and 2014 in a village of Budihostice there were established tests the aim of which was to set the influence of different vegetation structure of maize soil tillage on splash erosion values on the grounds of exact field experiments. In the experiments there was tested the rows width reduction from 0,75 m to 0,45 m. It is about a new method of maize soil tillage vegetation placing that could help erosion elimination. Using the method of retaining funnels there was evaluated an influence of rows width reduction on splash erosion values (*MSR*).

Then there was assessed a relation between the amount of aerial precipitation (P) and throughfall (P_{th}), and a relation among the amount of aerial precipitation (P), throughfall (P_{th}) and splash erosion (*MSR*). The results of the test showed that the row width reduction from 0,75 m to 0,45 m leads to splash erosion values decrease. Maize growing in narrower rows prevents rain water fall on the soil and thus it eliminates its degradation caused by soil elements desintegration. The technology of maize soil tillage growing in narrower rows is still consider to be a new methd in our conditions and it is not so much applied by farmers for the time being. On the basis of the positive results gained from the test this method should be applied so that there would not come to further farming land destroying.

Key words: maize, vegetation structure, splash erosion, throughfall, aerial precipitation

Obsah

1 ÚVOD.....	1
2 CÍLE PRÁCE A VĚDECKÉ HYPOTÉZY	2
3 LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	3
3.1 Eroze půdy	3
3.1.1 Obecná definice eroze a eroze půdy	3
3.1.2 Rozdělení eroze.....	4
3.1.3 Větrná eroze a její členění.....	5
3.1.4 Vodní eroze a její členění.....	6
3.1.5 Sněhová eroze	9
3.1.6 Příčiny eroze	10
3.1.6.1 Příčiny vodní eroze	10
3.1.6.2 Příčiny větrné eroze.....	11
3.1.7 Kapková eroze.....	12
3.1.7.1 Co je to kapková eroze a jak vzniká.....	12
3.1.7.2 Vliv a působení kapkové eroze	13
3.1.7.3 Měření kapkové eroze	14
3.2 Struktura půdy	15
3.2.1 Erozivita – erozní účinnost dešťových srážek	16
3.2.2 Erodovatelnost půdy – (K).....	17
3.3 Vliv vegetace	18
3.3.1 Vliv mulče (živý a mrtvý mulč).....	19
3.4 Účinky a dopady eroze na orné půdě	20
3.5 Protierozní opatření – eliminace eroze orné půdy	21
3.5.1 Opatření před vodní erozí	21
3.6 Půdoochranné způsoby zpracování půdy u širokořádkových plodin	24
3.7 Kukuřice setá.....	27
3.7.1 Vliv struktury porostů kukuřice seté na erozní procesy a jejich eliminace	28
3.7.2 Další příklady možné aplikace ochranného obdělávání podle Novotného a kol. (2014)	

3.7.3	Setí kukuřice do úzkého řádku.....	31
3.8	Eroze zemědělské půdy a legislativa ČR.....	33
3.8.1	GAEC 1.....	33
3.8.2	GAEC 2.....	34
4	MATERIÁL A METODIKA.....	35
4.1	Pokusná lokalita.....	35
4.2	Schéma pokusu a pokusné varianty.....	36
4.3	Agrotechnika.....	37
4.4	Hodnocení charakteristiky.....	38
4.4.1	Kapková eroze.....	38
4.4.2	Propad srážkové vody.....	40
4.4.3	Statistické vyhodnocení.....	41
5	VÝSLEDKY.....	42
5.1	Atmosférické srážky a porostní srážky.....	42
5.2	Kapková eroze, atmosférické srážky a porostní srážky (propad).....	45
6	DISKUZE.....	49
6.1	Atmosférické srážky a porostní srážky.....	49
6.2	Kapková eroze, atmosférické srážky a porostní srážky.....	50
7	ZÁVĚR A DOPORUČENÍ.....	52
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	53
8.1	Internetové zdroje.....	66
9	SEZNAM TABULEK A GRAFŮ.....	68
9.1	Seznam tabulek.....	68
9.2	Seznam grafů.....	68

1 ÚVOD

Nikdo z nás nemůže žít bez vody, vzduchu, slunečního záření a živin. Málokdo si však uvědomuje, že stejně tak důležitá je i půda. Jelikož půda je základním lidským pilířem, je neobnovitelným přírodním zdrojem, bez kterého by život nemohl existovat. Zemědělství je pro člověka stále nejdůležitějším způsobem obživy.

V současné době velmi často dochází k znehodnocování půdy a nenávratnému poškození. Degradace půdy vodní erozí je významným činitelem snižujícím produkční i mimoprodukční potenciál půdy. Proto je eroze půdy významným a celosvětovým problémem.

Erozi jsou ohroženy všechny zemědělské půdy včetně pastvin, sadů a vinic. Nejvíce ohrožená je orná půda, jelikož v meziporostním období zůstává často bez pokryvu.

Z výše zmíněných závažných důvodů erozních procesů je potřebné věnovat zvýšené úsilí hledání nových metod zakládání porostů, jenž by napomáhaly eliminaci eroze. V první řadě u širokořádkových plodin, jako je kukuřice. Jednou z možností je snížení šířky řádků, jejichž šířka dnes dosahuje 0,75 m. Z tohoto důvodu probíhaly v letech 2012-2014 pokusy, jejichž výsledky jsou presentovány v této práci.

Cílem bylo posoudit vliv užších řádků na eliminaci eroze v porostech kukuřice, především na eliminaci kapkové eroze, která je považována za primární faktor vzniku erozních procesů.

2 CÍLE PRÁCE A VĚDECKÉ HYPOTÉZY

Cílem práce bylo na základě přesných polních experimentů stanovit vliv rozdílné struktury porostů kukuřice seté na hodnoty kapkové eroze. V rámci hlavního cíle byly stanoveny následující dílčí cíle:

- Stanovit vliv šířky řádků na distribuci vody porostem
- Stanovit vliv šířky řádků na hodnoty kapkové eroze

Stanovené dílčí cíle vycházejí z následujících hypotéz:

H1 – Rozdílná šířka řádků ovlivňuje propad srážkové vody do porostu

H2 - Rozdílná šířka řádků ovlivňuje hodnoty kapkové eroze

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Eroze půdy

3.1.1 Obecná definice eroze a eroze půdy

Slovo eroze je latinského původu a je odvozené od slova „*erodere*“ – rozhlodávat (Brtnický a kol., 2012). Značí činnost vody, větru a ledu, která spočívá v rozrušování a odnosu (denudaci) půdní hmoty zemského povrchu a v jejím přemísťování do jiných poloh, kde se tyto hmoty ukládají (akumulace) ve formě nánosů (Cáblík, Jůva, 1963).

Výraz eroze půdy poprvé použil W. J. McGee v roce 1911, v literatuře se běžně objevuje až od 30. a zejména od 40. let minulého století (Janeček a kol., 2002). Na vymezení a zpřesnění jeho obsahu má hlavní zásluhu světoznámý americký erodolog H. H. Bennet a jeho spolupracovníci (Janeček et al., 2005). Ovšem problém eroze je starý jako zemědělství samo. Datuje se od dob starých civilizací v Mezopotámii, Řecku, Římě a dalších oblastech Blízkého východu (Blanco et Lal, 2008).

V nejširším smyslu slova pojmem eroze rozumíme rozrušování litosféry, resp. pedosféry pohybující se hmotou erogenního původu (Janeček a kol., 2002). Jedná se o proces oddělení a přepravy půdního materiálu erozivními činiteli (Ellison, 1947; Bhattacharyya et al., 2008).

Mezi erozivní činitele podle Zachara (1982) patří jednak činitele abiotické (voda, sníh, led, vítr a již zvětralé částice) a jednak biotické, tedy rostliny, živočichové a člověk.

V současné době je eroze definována jako komplexní proces zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných a půdních částic působením výše zmíněných tzv. erozivních činitelů (Janeček a kol., 2002).

Eroze půdy je třífázový proces, probíhající prostřednictvím činnosti vody v kapalném či pevném skupenství nebo větru. První fází tohoto procesu je uvolňování částic z půdní hmoty, další fází je jejich transport výše uvedenými činiteli. Třetí fází je ukládání transportovaného materiálu, k němuž dochází v okamžiku, kdy transportní médium již nemá dostatek energie k dalšímu přesunu erodovaných částic půdy (Holý, 1994).

V celosvětovém měřítku je eroze půdy jedním z mnohdy až tragických důsledků nerozumného využívání přírodních zdrojů člověkem a současně příčinou často nevratné degradace půdy a krajiny (Sklenička, 2003). Jedná se však o proces přirozený, který nelze zcela zastavit (Brtnický a kol., 2012).

3.1.2 Rozdělení eroze

Podle Benneta (1939), Blanca et Lal (2008) a Brtnického a kol. (2012) rozlišujeme dva hlavní typy eroze: normální, neboli geologickou a tu, jež vzniká působením člověka, tedy tzv. zrychlenou erozi (Vopravil a kol. 2013).

Geologická eroze je běžný proces zvětrávání, který obvykle nastává v malé míře na všech půdách a je běžnou součástí procesu tvorby půdy. Probíhá po dlouhá geologická období a není ovlivňován lidskou činností. Procesy, jako odnos hornin a tvorba půdních profilů jsou ovlivněné pomalým, ale dlouhodobým působením geologické eroze. Nízká míra eroze je tedy nezbytná pro tvorbu půdy. Podle Giffeyho (2005) je tento proces hodnocen kladně z půdotvorného hlediska, kdy rozkladem horniny a působením dalších půdotvorných činitelů vzniká půda. Tyto degradační procesy, ať půdy či horniny, jsou podle Riksena (2006) přirozené, neboť významně ovlivnily a ovlivňují vývoj krajiny. Teorie Riksena (2006) je shodná s teorií Velinského a Mikuláše (2005), kteří uvádějí, že právě eroze je nejvýznamnějším krajinoformujícím prvkem v historii naší planety, od počátku až dodnes.

Naproti tomu, jak dále uvádí Brown (1998) a Blanco et Lal (2008), pokud míra eroze překročí určitou kritickou hodnotu, nastává proces zrychlené eroze, což s sebou přináší všechny problémy s tímto jevem spojené. Zrychlená eroze je vyvolána antropogenním působením, jako je odlesňování, žďáření, intenzivní orba, intenzivní nekontrolované vypásání a spalování biomasy. Riksen (2006) uvádí, že člověk svým hospodařením tyto procesy významně urychlil a přesunul na území, kde nebyvaly hlavním problémem. Zrychlená eroze je tedy důsledkem nerespektování přírodních charakteristik a zákonů a je často 100 až 1000krát destruktivnější než geologická eroze (Sklenička, 2003). Obecně se uznává, že zrychlená eroze půdy je vážným světovým problémem (Holý, 1994), kdy části Země jsou pomalu zbavovány své přirozené plodnosti (Brown, 1998). Česká republika patří mezi země s výrazným postihem erozí. To je dáno především členitostí terénu, půdními podmínkami a intenzivní zemědělskou výrobou (Holý, 1994).

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

3.1.3 Větrná eroze a její členění

Podle Janečka a kol. (2007) je větrná eroze přírodní jev, při kterém vítr působí na půdní povrch svou mechanickou silou, rozrušuje půdu a uvolňuje půdní částice, které uvádí do pohybu a přenáší je na různou vzdálenost, kde se po snížení rychlosti větru ukládají.

V případě větrné eroze jde o narušování zejména klíčících rostlin, znečištění ovzduší, škody navátím ornice apod. Morgan (2005) dále uvádí, že kromě ztrát půdních částic, působí tyto uvolněné částice dalšími negativními efekty, jako je kontaminace vod a potravin, zhoršení stavu respiračních onemocnění a další rizika spojená s šířením škodlivých patogenů. Poškozují též elektrické stroje a ostatní mechanická zařízení a v neposlední řadě dochází ke snížení viditelnosti v silniční, železniční i letecké dopravě.

Podle Janečka a kol. (2002) a Dufkové a Tomana (2003) k větrné erozi dochází nejvíce na půdě bez vegetace a nízké půdní vlhkosti. Větrná eroze je tudíž v první řadě omezena aridním a semiaridním územím. V oblastech humidních postihuje pouze půdy vystavené rychlému vysychání povrchu, jako jsou písčité půdy a naváté písky (Pasák, 1966). Půdní částice jsou uváděny do pohybu vlivem kinetické energie větru tlakem na jejich povrch. Erozní procesy se zvyšují s velikostí území, neboť čím delší je území ve směru větru, tím nastává větší rozrušování povrchu půdy skákajícími půdními částicemi (Janeček a kol., 2002).

Ve výsledku je tedy větrná eroze podle Chepila et al. (1962) závislá na třech hlavních klimatických prvcích – větru, srážkách a teplotě vzduchu. Všechny tři uvedené klimatické prvky v sobě zahrnuje rovnice, kterou nazval erozně klimatický faktor C.

Pohyb půdních částic může probíhat ve třech formách (Morgan, 2005), jak uvádí ve své metodice Janeček a kol. (2007):

- Pohyb nejjemnějších půdních částic ve formě suspenze, které jsou větrem zvedány a přenášeny na velké vzdálenosti, vznikají tak prašné bouře
- Pohyb půdních částic skokem, při němž dochází k přemístování největšího množství půdní hmoty
- Pohyb půdních částic sunutím po povrchu půdy, kterým se pohybují větší a těžší částice.

Dufková (2010) uvádí, že větrnou erozí jsou ohroženy zejména lehké písčité půdy. V České republice se jedná především o půdy na jižní Moravě a v Polabí (Janeček a kol., 2007). Je však několik míst v České republice, kde se vyskytuje i na půdách těžkých. Jedná se o ojedinělý jev a z experimentů uskutečněných v USA je patrné, že rozpad půdních agregátů

ovlivňují především klimatické podmínky v zimním období, konkrétně proces zmrznutí a následného rozmrznutí půdy a proces vysušení půdy mrazem (Dufková, 2010).

3.1.4 Vodní eroze a její členění

Vodní eroze spočívá v rozrušování zemského povrchu dešťovými kapkami a povrchovým odtokem (Janeček a kol., 2002), (Rožnovský a kol., 2013). Působí mechanickou silou povrchové vody a má několik fází (Šarapatka et al., 2008).

Podle Brtnického a kol. (2012) je vodní eroze proces, při kterém působením energie vody dochází k rozrušování povrchu půdy. V první fázi dopadající vodní kapky rozrušují povrch nechráněné půdy a rozplavují půdní agregáty. Vzniká tak povrchová vrstva půdy, která omezuje vsakování vody, takže voda začne brzy stékat po povrchu. Tím začíná odnos materiálu spojený s dalším rozrušováním proudící vodou. Podobnou teorii publikuje i Janeček et al. (2005), který uvádí jako počáteční fázi vodní eroze kapkovou erozi, která je charakterizována drobnými jamkami v půdě, následuje plošná selektivní eroze, která vyplavuje pouze nejjemnější půdní částice, přičemž se na povrchu půdy vytváří hrubozrná vrstva skeletu. Dalším stupněm může být v některých případech plošná eroze vrstevná, vznikající vlivem větší kinetické energie povrchové stékající vody. Podle Holého (1994) při ní obvykle dochází ke ztrátě celé orniční vrstvy.

Janeček a Váška (2001) uvádějí, že hodnocení erozní ohroženosti a vlivu protierozních opatření na snížení intenzity vodní eroze a transportu látek v území je založena na kvantifikaci intenzity těchto procesů. K hodnocení intenzity eroze se používá řada výpočetních metod. Vzhledem k charakteru eroze, jejíž poznání je založeno na analýze výsledků dlouhodobého experimentálního sledování, vlivu jednotlivých erozních faktorů, byly pro hodnocení erozní ohroženosti území používány tzv. empirické modely erozního procesu. V polovině sedmdesátých let umožnil rozvoj teorie mechanismu erozních procesů, hydrauliky povrchového odtoku, infiltračních teorií a v neposlední řadě vývoj výpočetní techniky a informačních technologií, řešení eroze jako dynamického procesu, proměnného v prostoru a v čase. Tento přístup znamenal rozvoj metody tzv. stimulačních modelů eroze, která na základě fyzikálního popisu zúčastněných procesů řeší časový a plošný průběh a intenzitu eroze.

Podle formy se dělí na (Janeček a kol., 2002):

- **Erozi plošnou-vrstevná (Sheet erosion)** – půda je erodována téměř rovnoměrně po celé ploše pozemku nebo určité části svahu. Čím je plocha svahu rovnější, tím jsou podmínky pro soustředování vody menší. Avšak ani dokonale urovnaný povrch nemůže zabránit soustředování vody na svahu do rýžek a proto se dá plošná eroze těžko oddělit od rýžkové. První fází plošné eroze je kapková eroze (Janeček a kol., 2002).

Nejintenzivněji působí plošná eroze tehdy, když prudký déšť dopadá na solně vyschlou půdu a tříští její nechráněný povrch. Poněvadž suchá a dobře provzdušněná půda se provlhuje zpočátku jen velmi nesnadno, hromadí se voda rychle na povrchu a zvyšuje plošný ron, který pak strhuje zemité částice orníční vrstvy (Cáblík, Jůva, 1963).

Graficky znázorněná plošná eroze na obr. 1 b.

- **Erozi rýhovou-brázdovou (Rill erosion)** - soustředění plošného odtoku o hloubce a šířce několika cm. Při větším soustředění vody a postupném prohlubování stružek vznikají erozní rýhy různé velikosti a tvaru. Podle tvaru příčného profilu lze rozeznávat rýhy ploché, úzké, široké a oblé (Janeček a kol., 2008).

Graficky znázorněná rýhová eroze na obr. 1 c.

- **Erozi výmolovou–stržovou (Gully erosion)** - vymílá-li dešťový odtok již hluboké brázdy, výmoly a strže. Obvykle následuje po erozi rýhové jako další vývojový stupeň, zanedbá-li se včasné odstranění vznikajících rýh (Cáblík, Jůva, 1963). Výsledkem jsou hluboké výmoly a strže (typ balka-, typ ovrag). Nejvyšší formou eroze jsou strže, jejichž příčný profil má rozměry v řádu větším než 1 metr (Janeček a kol., 2008) a strže pak mohou dosahovat délky větší než 1 km. Je to nejpokročilejší a nejnebezpečnější stádium výmolové eroze (Novotný a kol., 2014).

Graficky znázorněná výmolová eroze na obr. 1.

- **Erozi tunelovou** - jak uvádí Blanco et Lal (2008), tato eroze vzniká jako důsledek odtoku následujícího po srážce. Díky kanálkům, trhlinám v půdě a zvířecím norám se dostává pod povrch, kde dochází k odnosu půdních částic. Povrch půdy, pod nímž obvykle dochází k tunelové erozi, bývá zpevněn kořeny (např. trav). Ovšem, pokud je část půdy pod povrchem erodována, dochází k propadům půdy.
- **Erozi rýžkovou (Interrill erosion)** – vzniká plynulým přechodem z plošné eroze soustředěním odtoku do úzkých zářezů. Vznikající hustá síť drobných úzkých rýžek se proto označuje jako eroze rýžková (rýžky jsou široké a hluboké cca 0,02-0,10 m), (Novotný a kol., 2014).

Podle Janečka a kol. (2002) je možné intenzitu procesu vodní eroze, která je výsledkem vztahu mezi erozní účinností, erozních činitelů a erodovatelností půdy, nejobecněji vyjádřit ve tvaru:

$$G = f(E_d, E_o, E_p)$$

kde

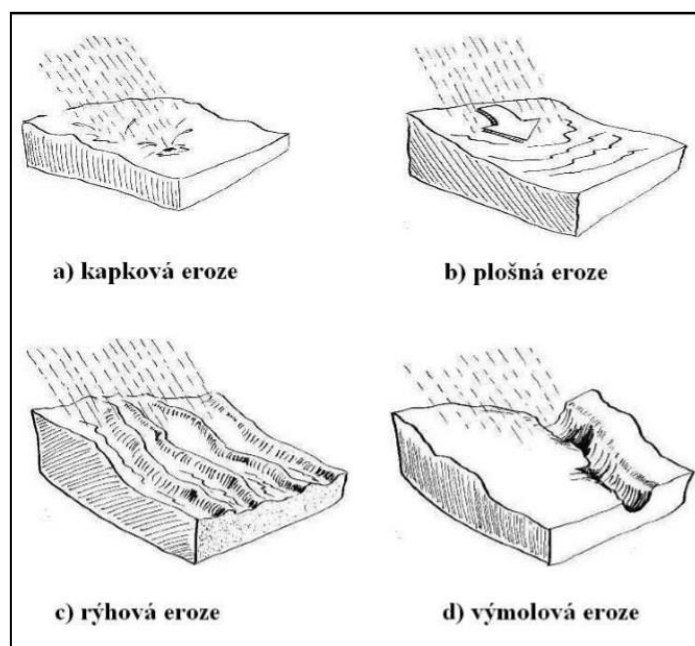
G = intenzita erozního procesu

E_d = erozní účinnost deště

E_o = erozní účinnost povrchového odtoku

E_p = erodovatelnost půdy

Obrázek 1 - Formy vodní eroze (Kučerová,2007),



3.1.5 Sněhová eroze

Kromě eroze vodní a větrné je nutné zmínit ještě sněhovou erozi. V podmínkách České republiky je působení eroze sněhové (nivální) malé (Bernsdorf, Richter, Schmidt, 1995). Jak uvádí Favis-Mortlock (2005), sněhová eroze odnáší při tání půdu stejně jako déšť, oproti vodní erozi má však určitá specifika (Janeček et al. 2005), která způsobují, že se značně liší od eroze dešťové. Např. to, že pro sněhové srážky je charakteristické, že jejich kinetická energie, kterou působí při dopadu na povrch půdy je zcela zanedbatelná a všechna energie pochází pouze z odtékající vody (Bernsdorf, Richter, Schmidt, 1995). Jak uvádí Zachar (1970) pole jsou v zimě většinou bez vegetačního pokryvu (s výjimkou ploch s ozimými obilovinami) a během zimy se na nich neprovádějí žádné agrotechnické práce. Rýžky a rýhy, které byly dříve vytvořeny, jsou neporušené a při každém dalším působení vody se znovu aktivují a zvětšují. Silněji se také projevuje vliv mikroreliefu a stop po dopravních prostředcích. Kromě toho bývá v zimě půda nejvíce nasycena vodou, což je způsobeno nižším výparem při nízkých teplotách a omezenou spotřebou vody.

Erozní působení vody z tajícího sněhu je intenzivnější a v relativně krátkém čase může dojít k rychlému odtoku velkého množství vody se značnou potenciální erozní a transportní kapacitou (Janeček a kol., 2002)

3.1.6 Příčiny eroze

Příčiny vodní eroze podle Janečka a kol. (2002) a podle VÚMOP (1995):

3.1.6.1 Příčiny vodní eroze

Vznik, průběh a intenzita erozního procesu je ovlivněna kombinovaným působením řady přírodních a člověkem ovlivněných podmínek. Tyto tzv. faktory eroze lze rozdělit podle Janečka a kol. (2002) na:

- Klimatické a hydrologické
 - zeměpisná poloha
 - nadmořská výška
 - množství, rozdělení a intenzita srážek
 - povrchový odtok
 - teplota, oslunění, výpar
 - výskyt, směr a síla větrů
- Morfologické
 - sklon území
 - délka a tvar svahu
 - expozice, návětrnost
- Geologické a půdní
 - povaha horninového substrátu
 - půdní druh a typ
 - textura a struktura půdy, její vlhkost a zvrstvené, obsah humusu
- Vegetační
 - hustota a délka trvání vegetačního pokryvu
- Způsob využívání a obhospodařování půdy
 - poloha a tvar pozemku
 - směr a technologie obdělávání
 - střídání plodin

3.1.6.2 Příčiny větrné eroze

Podle Janečka a kol. (2002) větrnou erozi ovlivňují tyto faktory:

- Klimatické
 - především intenzita, směr, četnost větrů a vlhkost území
- Půdní
 - vyjádřené strukturou a druhem půdy, závislost erodovatelnosti půdy větrem na druhu půdy je vyjádřena obsahem jílnatých částic ($< 0,01$ mm)
 - drsností půdního povrchu, kdy vyšší drsnost zvětšuje turbulenci a tím zvyšuje erodovatelnost povrchu
 - vlhkostí půdy, která zvyšuje vzájemnou soudržnost půdních částic, působí jejich tmelení ve větší druhotné agregáty do půdní krusty
- Morfologické
 - především délka území a orientace k převládajícím směrům větru
- Vegetační
 - hustota a délka trvání vegetačního krytu
- Způsoby hospodaření na půdě
 - směr obdělávání pozemků k převládajícím směrům větru
 - způsoby kultivace půdy, bezorebné setí
 - střídání výškově rozdílných plodin

3.1.7 Kapková eroze

3.1.7.1 Co je to kapková eroze a jak vzniká

Šarapatka a kol. (2002) rozlišují u dešťové eroze několik fází, stejně tak ve svých publikacích rozděluje dešťovou erozi i Ghadir a Payne (1977); Al Durrah a Bradford (1982). První fází je kapková eroze. Jedná se o primární faktor dešťové eroze, proces, při kterém dešťové kapky dopadající na nechráněný půdní povrch rozrušují svou kinetickou energií půdní agregáty a uvolňují půdní částice (van Dijk et al., 2002; LeguÉdois et al. 2005). Je-li intenzita a úhrn deště větší než vsakovací schopnost půdy, dochází po zaplnění mikroakumulačních prostorů na povrchu půdy k povrchovému odtoku (Janeček a kol., 2002)

Podle Kinnella (2005) ke kapkové erozi dochází pouze, pokud k povrchovému odtoku nedochází, nebo je jen malý (Chmelová a Šarapatka, 2002).

Při dopadu kapky na povrch půdy dochází k jejímu rozstříknutí v podobě drobných kapiček různých velikostí, se kterými jsou také rozstříknuty částičky zeminy (Brodowski, 2013).

S tím se shoduje teorie Morgana (2005), který uvádí, že při dopadu kapek dochází k přenosu jejich kinetické energie na povrch půdy, jehož důsledkem je rozpad půdních agregátů.

Morgan (2005) dále vysvětluje, jak působící energie dopadající kapky působí utužení povrchu. Zemina tak může být transportována až do vzdálenosti 2-3 mm pod povrchem, čímž ucpává půdní póry. Tím na povrchu půdy vzniká stále silnější vrstva půdních částic, která později formuje půdní škráloup, jehož hustota může být v závislosti na složení půdy až $1,91 \text{ Mg/m}^3$ (Roth, 1997).

Kapková eroze, jako proces transportní, není příliš účinná. Pokud se nejedná o svažitý pozemek, rozstříknutá zemina je opět nahrazena materiálem transportovaným z okolí jinou kapkou. Pokud je pozemek svažitý, pak se materiál rozstříknutý ve směru sklonu svahu dostane dál v porovnání s materiálem rozstříknutým proti směru tohoto svahu. To nutně musí vyústit v odnos půdy ze svažitých pozemků. Tato erodibilita narůstá s narůstajícím sklonem pozemku (Kinnell, 2005). Pouze 0,06% z energie srážky přispívá ke kapkové erozi. Její hodnoty jsou nízké, pohybují se kolem $0,082 \text{ kg/m}^2$ za rok při sklonu svahu 11° (Kinnell, 1991; Morgan, 2000).

Kapková eroze v krajině je podle Morgana (2005) a Ma et al. (2014) ovlivněna svažitostí, meteorologickými faktory, půdními vlastnostmi a rostlinným pokryvem.

3.1.7.2 Vliv a působení kapkové eroze

Kapková eroze je všeobecně považována za základ erozních procesů na orné půdě. Dopad dešťových kapek na povrch půdy je spojen se změnou struktury povrchu půd, zejména s rozpadem půdních agregátů a vznikem půdního škraloupu (Brant a kol., 2011)

Za hlavní důsledek kapkové eroze proto můžeme označit především rozrušení a uvolnění půdních částic, které jsou dále transportovány povrchovým odtokem (Kinnel, 1991; Morgan, 2000).

Hussain et al., (1999) sledovali kapkovou erozi v následujících plodinách: vikev, ječmen, žito a neosetá půda. Kapková eroze se snižovala se zvyšující se pokryvností půdy a snižující se svažitostí. Korelační koeficient mezi kinetickou energií dešťových srážek a intenzitou kapkové eroze byl stanoven na 0,30 při 4 % svažitosti a 0,84 při 9% svažitosti.

Mann et al. (2002) uvádí, že kapková eroze se snižuje se zvyšujícím se pokryvem půdy plodinami. Předmětem jejich sledování byly charakteristiky dešťových srážek a kapkové eroze na 25 % svahu. Na sledovaných půdách, byly pěstovány různé druhy plodin (kukuřice, fazole, kukuřice + fazole, neosetá půda). Nejvyšší kapková eroze byla naměřena ve variantě s kukuřicí. Ostatní varianty nevykazovaly průkaznou statistickou odchylku. Účinnost rostlinného pokryvu při omezování eroze dopadem dešťových kapek závisí na výšce a zapojení porostu a na hustotě půdního pokryvu. Výška porostu je významná, protože dešťové kapky dopadající ze 7 m můžou mít stále přes 90% jejich původní rychlosti. Dešťové kapky se mohou slučovat na povrchu listů a tvořit tak větší kapky, které mají větší erozní účinek (Morgan, 2005). Z výsledků výzkumu Finneyho (1984) a Branta a kol. (2013) je zřejmé, že teorie Morgana (2005) se shoduje v tom, že okap vody z listů kukuřice je většinou spojen s tvorbou větších kapek. Je tedy očividné, že se tento proces projevuje výraznějším poškozením půdy v místech soustředěného odkapávání ve srovnání s plochami, kde dochází pouze k přímému dopadu dešťových kapek. Jak je dále patrné z výsledků výzkumu Branta a kol. (2013), okap z listu v porostech kukuřice je ovlivněn postavením listů na rostlině, strukturou porostu ve vztahu k šířce řádků a vzdáleností rostlin v řádku a s tím spojenou mírou vzájemného překrývání se listů v jednotlivých patrech či v rámci celého výškového profilu porostu, a také vývojovou fází.

3.1.7.3 Měření kapkové eroze

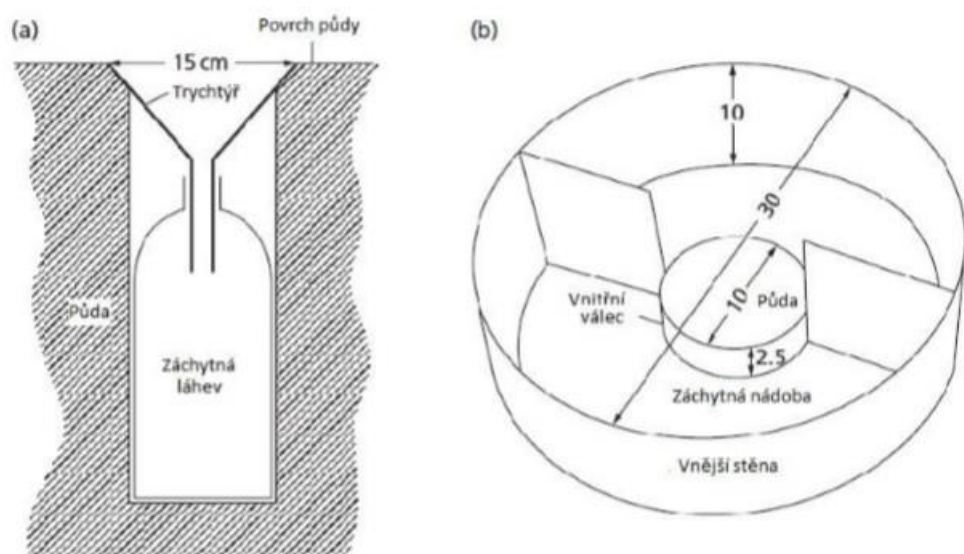
Dle Stroodnijdera (2005) je třeba zvolit správný rozsah měření. Pro měření kapkové eroze v zemědělství se doporučuje bodové měření v okolí 1 m² od tohoto bodu. V případě časového hlediska se jedná o měření po každé ukončené srážkové události či roční sledování pro účely ochranných protierozních opatření.

Erozní plochy, Gerlachovy žlaby, erozní kolíky a erozní můstky informují o kapkové erozi. Kapková eroze může být v polních podmínkách měřena pomocí kapkových desek (Ellison 1944), malých nálevek, nebo lahví (Sreenivas et al. 1947; Bolline, 1975 – obrázek 2a; Morgan, 2005).

Morgan (1981) dále upozorňuje, že při erozním procesu dochází k působení více druhů eroze zároveň, tím pádem je obtížné zachytit pouze tu část půdy, která je transportována erozí kapkovou. To je možné například při použití metody záchytných trychtýřů a metodou označovanou jako „splash cups“ (Obr. 2).

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

Obrázek 2 - Metody měření kapkové eroze – obr. a) záchytný trychtýř dle Bollinnee (1975), obr. b) „field cup“ dle Morgan (1981), rozměry jsou uvedeny v cm.



3.2 Struktura půdy

Strukturu půdy můžeme charakterizovat jako uspořádání půdních částic v určitém objemu a jejich spojování do větších strukturních jednotek (agregátů). Každý agregát je komplex půdních částic hlavně minerálního, ale i organizačního původu, které jsou spojovány tmelícími látkami, jako jsou sloučeniny železa, hliníku, vápníku a humusové látky. Pevnost stmelení strukturních agregátů nazýváme stabilitou půdní struktury. Volný prostor mezi půdními částicemi a strukturními agregáty zaujímají půdní póry. Struktura půdy svojí stavbou a uspořádáním agregátů, spolu s mezičásticovými a meziagregátovými póry, určuje základní fyzikální vlastnosti půdy, které vlivem zpracování podléhají dynamickým změnám. Půdní struktura integruje všechny základní vlastnosti půdy, vymezuje a ohraničuje její reakci na působení vnějších sil (Hůla a Procházková, 2008).

Technologie zpracování půdy, má vliv na stabilitu půdních agregátů v horní vrstvě půdy (0-0,1m), (Brant a kol., 2011).

Struktura půdy je jedním z faktorů ovlivňujících erodibilitu – náchylnost půd k erozi (Krempfer et Rosenau, 1986) a právě stupeň stability půdních agregátů pod vlivem energie dopadajících dešťových kapek je rozhodující v erodovatelnosti půdy (Badalíková, Hrubý, 2009).

3.2.1 Erozivita – erozní účinnost dešťových srážek

Vodní eroze je určena vztahem mezi schopností erozních činitelů způsobit erozi (tzv. erozivita) a schopností povrchu půdy tomuto působení odolávat (tzv. erodibilita), (Sweb, 2001). Šurda a Antal (2006) vysvětlují, že důležitou otázkou je určení mezní hodnoty intenzity deště, který vyvolává významný odnos půdy (erozní účinný déšť). S tímto tvrzením se shodují výsledky Hudsona, které získal na základě svých studií v Zimbabwe (Morgan, 1995).

Nejvhodnějším vyjádřením erozivity deště je index založený na určení kinetické energie deště. Jak uvádí van Dijk et al., (2002) kinetická energie srážky $E_{K,D}$ (J) je funkcí velikosti dopadající kapky a její rychlosti při dopadu. Což lze vyjádřit níže uvedenou rovnicí, kde m_D (kg) je hmotnost dopadající kapky a v_D (m/s⁻¹) rychlost kapky při dopadu. Poté je erozivita deště funkcí jeho intenzity a trvání, jakož i hmotnosti, poloměru a rychlosti dopadu dešťových kapek na povrch půdy (Morgan, 1980).

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

Erozivita dešťových srážek je udržována konstantní regulací intenzity srážek. To umožňuje, izolovat funkci spojenou s rozpadem půdy a určit index erodovatelnosti pro různé půdy. Na dešťové simulátory v laboratořích působí oproti polním méně rušivých vlivů jako je vítr, teplota a vlhkost (Aksoy et al., 2012).

Erozivita je ovlivněna množstvím a intenzitou srážky, rychlostí dopadu kapek a jejich velikosti a také tím, jak je dopadající srážka rozložena v prostoru (Blanco et Lal, 2008).

3.2.2 Erodivatelnost půdy – (K)

Pasák (1967) uvádí, že přírodní faktory prostředí vyvolávající větrnou erozi (vzájemné působení větru, vlhkosti půdy a obsahu neerodovatelných částic v půdě) vyjadřují ohroženost půdy větrnou erozí označovanou termínem erodovatelnost.

Vlastnosti půdy ovlivňují infiltrační schopnost půdy a odolnost půdních agregátů proti rozrušujícímu účinku dopadajících kapek deště a transportu povrchově odtékající vodou (Podhrázská, Dufková, 2005).

Faktor erodovatelnosti půdy neboli náchylnost půdy k erozi je v univerzální rovnici vymezen jako odnos půdy na jednotku dešťového faktoru ze standardního pozemku, který je udržován jako kypřený černý úhor kultivovaný ve směru sklonu pozemku.

Faktor erodovatelnosti půdy lze zjistit těmito postupy (Janeček a kol., 2008):

1. ze vztahu odvozeného pro faktor K pokud obsah prachu a práškového písku v půdě nepřesahuje 70%.

$$100 K = 2,75M^{1.1410-4(12-a)} + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3)$$

M – (% prachu + práškového písku) x (100 - % jílu)

a – procenta organické hmoty

b – struktura ornice

c – třída propustnosti půdního profilu

2. podle nomogramu sestrojeného dle Wischmeiera, Jonsona, Crosse.
3. velmi přibližně lze využít map bonitovaných půdně ekologických jednotek.

3.3 Vliv vegetace

Vegetační kryt zamezuje vodní erozi přímou ochranou povrchu půdy před destruktivním působením dopadajících dešťových kapek, zpomalováním rychlosti odtoku a nepřímým působením vegetace na půdní vlastnosti, jako jsou pórovitost a propustnost pro vodu, včetně omezení možnosti zanášení pórů rozplavenými půdními částicemi a mechanickým zpevněním povrchu půdy kořenovým systémem omezujícím možnost odnosu vody (Janeček a kol., 2002). Při dopadu deště na pozemek s vegetačním krytem propadává část kapek mezi rostlinami přímo na povrch půdy. Další část kapek je zachycena vegetací. Část srážek, které zůstávají trvale zachyceny na rostlinách, se odpaří v podobě intercepčního výparu zpět do atmosféry. Zbývající voda se na půdu dostává v podobě stoku po stonku (stemflow). Zde hraje výraznou roli svedení vody z listů k rostlině. Další část vody pak odkapává z listů na zem. Okap vody z listů je většinou spojen s tvorbou větších kapek a jejich následným soustředným dopadem na stejné místo. V místech dopadu odkapávající vody může docházet k výraznějšímu poškození půdy, než na místech s přímým dopadem kapek (Morgan, 2005). S teorií Morgana (2005) se shoduje teorie Brandta (1989), který prokázal, že pro většinu rostlin platí, že větší kapky skapávající z listů mají průměrně kolem 4,9 - 5,5 mm, což je přibližně 2x více než v případě deště. Jak bylo výše uvedeno Gernerlová, Brant a kol. (2013) upozorňují na překrývající se listy a stékající vodu z nich, která se akumuluje a dopadá do jednoho odkapového místa, tím je efekt ještě umocněn.

Gyssels et al. (2005) zjistili, že vegetační pokryv hraje významnou roli. Jelikož čím je porost hustší a vyskytuje se delší dobu během roku, tím je půda lépe chráněna, vysvětluje Sreenivas et al. (1948). Dokonalou protierozní ochranu v době největšího výskytu přívalových dešťů poskytují porosty trav a jetelovin, kdežto běžným způsobem pěstované širokořádkové plodiny (okopaniny, kukuřice), ovocné sady a vinice chrání půdu nedostatečně (Pasák, Janeček, Šabata, 1983). Morgan (1985) vysvětluje účinnost listů rostlin, které působí jako pohlcovače energie srážky. Hlavním významem porostu je ovšem zachycení objemu vody dopadajících srážek. Morgan et al. (1998) vysvětluje, jak je dopadající srážka z části svedena rostlinami po stonku a z menší části zachycena na rostlině. Dochází tak k minimalizaci povrchového odtoku, který by dále způsobil erozi (Morgan, 1985).

3.3.1 Vliv mulče (živý a mrtvý mulč)

Mulčování kromě zpomalení odtoku vody zvyšuje množství vodní vrstvy. Je možné jej vnímat jako dostatečnou ochranu již při 30 až 50 % pokrytí povrchu (Schachtschabel et.al.,1998).

Vlivem živého mulče dochází k vytvoření rostlinných pokryvů půdy v porostech hlavních plodin při současné minimalizaci zpracování půdy (Hughes a Sweet, 1979). Jedná se o využití podsekových plodin (Brandsæter et al., 1999) nebo vegetačních pokryvů půdy zakládaných po sklizni hlavní plodiny (Scott et al., 1987), které minimalizují období, kdy je půda bez vegetačního pokryvu (Brant a kol., 2008).

Plodiny, představující živý mulč, musí podle Liedgense (2001) splňovat tyto podmínky: nesmí konkurovat kulturní rostlině; nesmí svým použitím omezovat střídání plodin v osevním postupu, pěstování musí snižovat erozi a proplavování agrochemikálií; musí redukovat vyplavování dusíku; musí minimalizovat aplikaci pesticidů; musí se spolehlivě etablovat na stanovišti a zároveň být dobře regulovatelné; osivo rostlin musí být levné a musí být zajištěna jeho každoroční dostupnost; musí přispívat ke zlepšení půdních vlastností; musí zajišťovat biologickou sorpci živin; musí se podílet na krmivové základně; jednoznačně musí podporovat potravní řetězce v krajině (Brant a kol., 2008).

Jak uvádí Hůla a kol. (1995), mulč z odumřelé meziplodiny přispívá k ochraně povrchu půdy při intenzivních dešťových srážkách. Účinek částečného pokrytí povrchu půdy rostlinnými zbytky se příznivě projevuje v menším poškozování půdní struktury na povrchu půdy při silných deštích a tím i menším nebezpečím následné tvorby půdního škraloupu. Na svažitéch pozemcích je zvlášť oceňován přínos mulče k omezení vodní eroze půdy. Podle měření Dickeyho (1984) již 20% pokryvu povrchu půdy rostlinnými zbytky snižuje erozi o 50% v porovnání s půdou bez pokryvu.

3.4 Účinky a dopady eroze na orné půdě

V historii bylo na území České republiky zaznamenáno 5 významnějších období nadměrné aktivity vodní eroze způsobených hospodářskou činností člověka, a to v letech 750 n. l., 850 n. l., 1300-1400 n. l., 1750-1850 n. l. a období po roce 1952. Všechna období růstu aktivity vodní eroze souhlasí s obdobími změn klimatu, vyznačujících se dílčími postupy alpských ledovců a současným růstem zemědělské aktivity člověka (Stehlík, 1981).

Zrychlená eroze zemědělských půd vážně ohrožuje produkční a mimoprodukční funkce půd a vyvolává mnohamilionové škody v intravilánech měst a obcí. Ty jsou způsobované povrchovým odtokem a smyvem půdy zejména ze zemědělských pozemků (Janeček a kol., 2007).

Eroze ochuzuje zemědělské půdy o nejurodnější část – ornici. Zhoršuje fyzikálně – chemické vlastnosti půd, zmenšuje mocnost půdního profilu, snížení podzemních vod, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, poškozují plodiny a kultury, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztráty osiv, sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin. Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje, zanášejí akumulární prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin a velké povodňové průtoky poškozují budovy, komunikace, koryta vodních toků apod. (Holý, 1994; VÚMOP, 1995; Janeček a kol., 2002; Glaser, 2006).

Hektarové výnosy na slabě erodovaných půdách se snižují o 15–20 %, na středně erodovaných o 40–50% a na silně erodovaných půdách se snižují až o 75% (Pasák a kol., 1983).

Výsledky výzkumu Benneta (1939) z hlavní produkční oblasti USA (Corn Belt) dokázaly, že výnosy poklesly až o 77 % tam, kde byl erozí odstraněn humusový horizont. Efekt snížení byl různý podle různých typů půd a plodin, ale všechny výnosy byly značně sníženy. Hnojením se výnosy sice zvýšily, ale byly přece jen nižší než na hnojené nepoškozené půdě. Eroze půdy je významný problém, především v ekologicky zranitelných oblastech s vyššími srážkami a svažitostí. Půdní eroze bude přetrvávat, dokud bude používána intenzivní zemědělská výroba.

3.5 Protierozní opatření – eliminace eroze orné půdy

Janeček a kol. (2007) uvádějí, že na území ČR je cca 50% orné půdy ohroženo vodní erozí a téměř 10% větrnou. Podle Budňákové (2009) je v ČR 4,244 milionů ha zemědělské půdy ohroženo vodní erozí, což činí 42% zemědělského půdního fondu. Větrnou erozí je potenciálně ohroženo 7,5% zemědělského půdního fondu.

Úkolem ochranných opatření je snížení lidským působením zrychlené eroze na úroveň normální, geologické eroze (Janeček a kol., 2002).

3.5.1 Opatření před vodní erozí

Jak uvádí Janeček a kol. (2002), zemědělskou půdu na svazích je třeba chránit před vodní erozí vhodnými protierozními opatřeními. Jde o komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření, vzájemně se doplňujících a respektujících současné základní požadavky a možnosti zemědělské výroby.

Ochranu půdy proti vodní erozi je možné zajistit aplikací protierozních opatření, která spočívají v ochraně půdy před účinky dopadajícího deště, zachycení povrchově odtékající vody na chráněném bloku, převedení co největší části povrchového odtoku na vsak do půdního profilu, snížení rychlosti odtékající vody a z dlouhodobého hlediska i snížení erodovatelnosti půdy. Z hlediska finančního je doporučeno při návrhu protierozních opatření postupovat od finančně i realizačně nejjednodušších opatření organizačního a agrotechnického charakteru k opatřením technického charakteru (Ministerstvo zemědělství ČR).

Důležitou roli v protierozní ochraně půdy sehrává vegetační pokryv, který chrání půdu před přímým dopadem kapek, podporuje vsak dešťové vody do půdy a kořenovým systémem zvyšuje soudržnost půdy, která se tak stává odolnější vůči účinkům stékající vody (Janeček a kol. 2007).

Janeček a kol. (2007) se shodují s Kvítkem a Tipllem (2003) a dále uvádějí následující protierozní opatření:

- **Organizační protierozní opatření** - podle Brtnického a kol. (2012) je základem organizačních protierozních opatření situování pozemků delší stranou ve směru vrstevnic; zvolení vhodné velikosti a tvaru pozemku, kdy pozemek by měl být obdélník (či n-úhelník) situovaný delší stranou po vrstevnici. Délka této strany pozemku, kde dochází k odtoku, by pak neměla přesahovat maximální přípustnou

délku (vypočtenou např. dle Universal Soil Loss Equation), (Blanco at Lal, 2008) a vymezení parcel vhodných ke změně druhů pozemků (Janeček a kol, 2007).

Zásady ochrany proti vodní erozi organizačními opatřeními vycházejí ze znalosti příčin vzniku erozních jevů a zákonitostí jejich rozvoje a vyúsťují v obecné protierozní zásady: včasný termín výsevu plodin, výsev víceletých pícnin do krycí plodiny, posun podmínky do období s nižším výskytem přívalových dešťů (na září), zařazování bezorebně setých meziplodin (z čehož podle mnoha výsledků různých autorů vyplývá, že z bezorebně zpracovaných ploch došlo k dvakrát nižšímu povrchovému odtoku a pětkrát nižší ztrátě půdy, jak uvádí Badalíková (2009), rozmístění plodin podle ohroženosti pozemku (Janeček a kol. 2007). Organizační protierozní opatření patří k nejlevnějším opatřením (Kvítek a Tippl, 2003).

- **Agrotechnická opatření** – nejvíce podléhá erozi půda bez vegetačního pokryvu. Tato opatření jsou založena na minimalizování časového úseku, kdy je půda bez vegetačního pokryvu (Janeček a kol., 2007).

Jsou používána ke zlepšení vsakovací schopnosti půdy nebo zvýšení její protierozní odolnosti a k vytvoření ochrany jejího povrchu především v období výskytu přívalových srážek, kdy zejména širokořádkové plodiny svým vzrůstem a zapojením nedostatečně kryjí půdu (Janeček a kol., 2002).

V podmínkách ČR se jedná o období nejčastějšího výskytu přívalových dešťů (červen - srpen), ale i období tání sněhu, jak se shoduje Morgan (1985) s Janečkem a kol. (2012).

K agrotechnickým protierozním opatřením řadíme: meliorace podorničních horizontů (podrývání) – podzimní hluboké kypření od 0,5 do 1 m; výsev do ochranné plodiny, strniště a ponechaných rostlinných zbytků na povrchu půdy – mulčování; setí do hrubé brázdy (okopaniny, kukuřice) – snížení povrchového odtoku a zvýšení zasakování vody do půdy; přerušované brázdování (hrázkování) – na jaře, zadržení vody na pozemku; stabilizace povrchu půdy (soubor opatření) – vytvoření optimální struktury půdy (Kvítek, Tippl, 2003).

Mezi další agrotechnická opatření řadíme způsoby obdělávání půdy, jimž je věnována samostatná kapitola, která je uvedena níže a pojmenována jako Půdoochranné způsoby zpracování půdy.

- **Technická opatření** – jedná se obvykle o terénní urovnávky, vrstevnicové meze, terasy, příkopy, průlehy, zatravněné údolnice, ochranné hrázky, protierozní nádrže protierozní kanály a sanace strží a úvozů. Tato opatření jsou navrhována v rámci pozemkových úprav ((Kvítek a Tippl, 2003; Janeček a kol., 2007).

Jak uvádí Hůla a kol. (2008) tyto opatření jsou typicky většího rozsahu a používají se k doplnění opatření organizačních a agrotechnických. Jsou navrhovány tak, aby pomocí záchytných prvků došlo ke snížení délky svahu, jež má vliv na průběh eroze (Ministerstvo zemědělství ČR).

Budování teras je vhodné především na svažitéjších zemědělsky využívaných pozemcích, jako jsou např. vinice či olivové háje, případně na plochách lesů s větší svažitostí či na dále nevyužívaných pozemcích, kde se vyskytuje riziko eroze (Bazzoffi et Gardin, 2011).

Tato opatření patří k nejnákladnějším a používají se tehdy, není-li možné snížit erozní ohrožení organizačními nebo agrotechnickými opatřeními (Kvítek a Tippl, 2003).

3.6 Půdoochranné způsoby zpracování půdy u širokořádkových plodin

Jak uvádí Morgan (2005) a Hůla (2000), za půdoochrannou technologii zpracování půdy je v nejširším smyslu slova považováno to zpracování, při kterém je po sklizni plodiny na povrchu půdy zachováno alespoň 30% posklizňových zbytků.

Základem půdoochranných technologií jsou rozdílné systémy zpracování půdy. Cílem těchto systémů je podpořit infiltraci, zvýšit drsnost povrchu pozemku a využít ochranného efektu živého nebo mrtvého mulče nacházejícího se na povrchu půdy (Brant a kol., 2012).

Havlin a Schlegel (1997) uvádějí, že právě půdoochranné technologie zpracování půdy vedou kromě snížení evaporace a regulace odtoku vody ke zvýšení infiltrace a k eliminaci eroze. S touto teorií se shoduje i Grosa (2006), který uvádí, že díky využívání ochranných technologií se v půdě udržují pochody nutné k vyváženosti půdy jako celku. Půda, na kterou je správně aplikována půdoochranná technologie vytváří příznivé prostředí pro kvalitní růst zemědělských plodin a poté nezřídka nadprůměrné výnosy ze sklizně.

Dále lze podle Morgana (2005) půdoochranné technologie rozčlenit na:

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

Setí do nezpracované půdy (no tillage) představuje narušení půdy před setím v úzkém pásu 25–75 mm, ve kterém se vytvoří seťové lůžko pro následný výsev. Posklizňové zbytky předplodiny jsou ponechány na povrchu půdy z 50–100%. Výskyt plevelů musí být kontrolován použitím herbicidů (Morgan, 2005).

Podstatou je práce s mulčem, kdy půda neprochází žádnou technickou operací od sklizně do následného setí nové plodiny. Pro setí je použito speciálního secího stroje, který půdu rozrušuje pouze na nutné minimum. Rozrušení půdy těmito secími stroji je přibližně v rozmezí 25%. Tím pádem více jak 80% mulče zůstává na povrchu obdělávané půdy (Šimon a Hůla, 1999).

Můžeme se setkat i s výrazy "direct drilling" nebo "zero tillage". Výraz "direct-drilling" pochází ze Severní Ameriky a lze ho přeložit jako "přímé setí", výraz "zero tillage" pochází z Anglie a znamená "nulová orba". Oba výrazy jsou synonyma pro nejběžněji používaný výraz "no tillage" (Titi, 2003).

- **Pásové zpracování půdy (strip tillage)**

Jak uvádí Brant a kol. (2011), je to způsob zpracování půdy, při kterém se provádí zpracování půdy v úzkých pruzích pomocí speciálních kultivačních strojů pro vytvoření seťového lůžka

před výsevem. Takto zpracovaná půda se neorá. Výskyt plevelů je kontrolován za použití herbicidů, popřípadě kombinace herbicidů a meziřádkové kultivace (Morgan, 2005).

Principem pásového zpracování je kombinace výhod plošného zpracování půdy a setí do nezpracované půdy (no till), (Brant a kol., 2011).

Za hlavní výhody strip tillage lze dle Sundermeiera a Reedera (2006) považovat: ochranu půdy v důsledku ponechání rostlinných zbytků v meziřádcích; zlepšení půdních podmínek pro vývoj rostlin v řádcích (vyšší teplota a kvalitněji připravené seťové lůžko); uložení hnojiv do blízkosti kořenů, což umožňuje i snížení jejich množství, vhodnější podmínky výsevu spočívající v časnějším termínu setí a v nižších požadavcích na startovací dávky hnojiv ve srovnání s ostatními technologiemi (Brant a kol., 2011).

Zpracování půdy v pásech se hojně využívá u širokořádkových plodin (Hůla, 2000). Zejména v zahraniční literatuře se označení strip tillage používá též pro označení jednoho ze způsobů protierozních technologií pro pozemky s větším spádem. Jde o systematické střídání pásů orientovaných jako vrstevnice, kdy obdělávaný pás s šířkou nepřekračující 100 m střídá širší pás trvalé zelené vegetace (Titi, 2003).

Podle Branta a kol. (2011) jsou základní způsoby strip tillage odvozeny od typu použitých pracovních nástrojů a intenzity zpracování půdy. V rámci jednotlivých způsobů se jedná o (Precision Tillage 2006):

- **odstranění rostlinných zbytků** v řádku vysévané plodiny pomocí prstových kotoučů nebo disků, případně o využití kombinace prstových kotoučů a řezného disku,
- **mělké strip-tillage** spočívající v rozřezání a v odstranění reziduí rostlin z řádku s použitím rýhovaných (zvlněných) kotoučů, v přípravě seťového lože a hnojení,
- **hlubší strip-tillage**, jehož základem je odstranění zbytků rostlin z řádku, nakypření půdy, hlubší uložení hnojiva do řádku a vytvoření malých hrůbků.

Pracovními orgány mohou být radličky, nože, nástroje pro hlubší kypření a disky.

Trevini a kol. (2013) uvádějí, že "strip tillage" zpracování půdy, náleží ke konzervativním postupům rozšířeným především v zámoří. V Evropě se začalo používat teprve v nedávné době, jeho použití je třeba vyhodnotit v souladu s půdními a klimatickými podmínkami. Jde o uznávanou technologii v oblasti životního prostředí, jež má své agronomické i ekonomické přínosy.

Brant a kol. (2009) při provedeném experimentu prokázaly, že hodnocené pásové zpracování půdy ke kukuřici nemělo negativní vliv na produkci biomasy ve srovnání s konvenční technologií. Na základě dalších hodnocení však bylo prokázáno pozitivní působení řádkového

zpracování půdy na zlepšení dostupnosti vody během vegetace a na zvýšení stability půdních agregátů.

- **Setí do mulče (mulch tillage)**

Je způsob zpracování půdy, při kterém dochází k narušení povrchu půdy pomocí dlát nebo speciálních disků. Při tomto způsobu zpracování půdy zůstává nejméně 30% rostlinných zbytků na povrchu půdy. Výskyt plevelů je kontrolován za použití herbicidů, popřípadě kombinace herbicidů a meziřádkové kultivace (Morgan, 2005).

Pěstovaná předplodina je buď sklizena (pro mulč jsou použity rezidua ze sklizně, nebo je předplodina chemicky či mechanicky umrtvena a ponechána na poli. Tento obsah je pomocí mulčovacího stroje opět rovnoměrně rozmístěn po honu. Následující operací se jemně zapraví tento povrch do půdy. Výsledkem je zbytková hodnota povrchu rostlinnými zbytky, a to v množství přibližně 30–60% plochy. Při setí se použije speciální secí stroj uzpůsobený pro setí do mulče (Šimon a Hůla, 1999).

- **Hrůbkové zpracování půdy (ridge tillage)**

Využívá se v drtivé většině především pro plodiny širokořádkové - například všechny odrůdy řep a brambor, kukuřice. Při setí do hrůbku je nutno použít speciálního stroje, který seje dané plodiny na vrchol hrůbku. Rostlinné zbytky lze v takovém případě najít v řádcích mezi jednotlivými hrůbkami, obsah mulče je v rozmezí přibližně 40–70% celkové plochy obhospodařovaného honu. Na první pohled prokazatelné výsledky ochrany mulčem jsou patrné po každém přívalem dešti, kdy nedochází k markantnímu vymílání a tím prohlubování rýh mezi hrůbkami (Šimon a Hůla, 1999).

3.7 Kukuřice setá

Kukuřice setá (*Zea mays* L.) z čeledi lipnicovité (*Poaceae*) je druh jednoděložné rostliny, která patří společně s rýží a pšenicí k nejvýznamnějším obilninám. Tato jednoletá rostlina vytváří až pět metrů vysoké stéblo s poměrně širokými listy a terminální latou samčích květů a s úžlabní palicí květů samičích, která je zahalena papírovitými listeny, z nichž na vrcholu vyčnívají dlouhé žláznaté nitkovité blizny. Obilky jsou v palici uspořádány na dužnatém vřetenu. (Novák a Skalický, 2008).

Plochy kukuřice na zrno u nás postupně narůstají, naopak plochy kukuřice na siláž v souvislosti se snižováním stavů skotu klesají. Kromě hlavních užitkových směrů se v ČR rozvíjí další, alternativní formy využití produkce kukuřice. Jedná se o průmyslové zpracování na surovinu pro výrobu stavebních hmot, papíru, lepidel, bioplastů a nejnověji pro výrobu obnovitelných zdrojů energie, jako je bioetanol, bioplyn a biomasa (Hůla a kol., 2008).

Kukuřice začíná klíčit při teplotě kolem 8 °C. Při této vegetativní fázi není její požadavek na vodu tak vysoký, ovšem fáze intenzivního růstu (metání až mléčné zrání-rozhoduje do značné míry o celkovém výnosu) je na dostatek vody velmi citlivá. Nedostatek vláhy vede i k zasychání blizen v době květu kukuřice. Krátkodobé suché období není pro kukuřici nikterak ohrožující, velmi dobrý kořenový systém dokáže požadovanou vláhu zajistit svými hlubšími kořeny ve větších hloubkách půdy, kde v době krátkého sucha vlaha zůstává. (Hůla a kol. 2008).

Kukuřice se v našich podmínkách pěstuje převážně konvenčním způsobem v širokořádkové kultuře. Nejčastěji je zařazována po obilninách, v menším rozsahu se pěstuje opakovaně po sobě. V současné době lze kromě konvenčního způsobu zpracování půdy a setí uplatnit zjednodušené způsoby zakládání porostu s využitím minimalizace a ochranného zpracování půdy (Vach a Javůrek, 2011).

Kukuřice je obecně považována za nejcitlivější plodinu vůči erozi půdy (Pimentel, 2006).

3.7.1 Vliv struktury porostů kukuřice seté na erozní procesy a jejich eliminace

Nejmenší ochranu proti erozi půdy poskytují širokořádkové plodiny (VÚMOP, 1995). Při pěstování kukuřice na svažitých pozemcích dochází k závažnému poškozování půdy vodní erozí. Zejména přívalové deště v období před zapojením porostu kukuřice mohou způsobit velké škody (Hůla a kol., 1995).

Současný sortiment strojů pro zpracování půdy a setí umožňuje realizovat netradiční půdoochranné technologie při pěstování kukuřice seté (Hůla, 1995). Různé způsoby zpracování půdy zanechávají na povrchu půdy různé množství rostlinných zbytků z předplodiny nebo mulče (Randall and Hill, 2000).

Bez výjimky jakákoli dobře aplikovaná půdoochranná technologie vede k omezení vodní a větrné eroze. Kukuřice patří mezi širokořádkové plodiny, u které se aplikace minimalizačních technologií ještě více projeví. Velikost omezení eroze se odvíjí od množství ponechávaných rostlinných zbytků na povrchu půdy a od následného kroku zpracování půdy. Čím méně je do půdy zasahováno, tím lepších výsledků z pohledu odolávání vůči erozi je dosaženo. Z dosavadních poznatků je patrné, že ponechávání zbytků mulče a aplikace minimalizačních technologií v kukuřici v teplejších oblastech vůbec neubírá na celkovém výnosu. Chladnější oblasti mají už znatelný úbytek na výnosu a ten lze eliminovat hlubším kypřením, případně setím kukuřice do hrůbku (Hůla a kol., 2008).

Na erozně ohrožených půdách je vhodné použití technologie s výsevem do vymrzající nebo i přezimující (chemicky likvidované) meziplodiny (Procházková a kol., 2011). Hlavním cílem založení porostů meziplodin po sklizni předplodiny a jejich ponechání na pozemku minimálně do výsevu kukuřice, je eliminace větrné a vodní eroze (Brant a kol., 2011). Při uplatnění protierozních opatření se jedná o eliminaci eroze v porostech širokořádkových (případně dalších plodin) a v meziporostním a zimním obdobím. (Brant a kol., 2008). Jak uvádí Dierauer (1994) v porostech kukuřice se uplatňují zejména podsevové meziplodiny.

Po výsevu širokořádkové plodiny přímo do mulče vymrzající meziplodiny nebo předplodiny (např. sláma obilnin) či po řádkovém zpracování půdy, snižují rostlinné zbytky riziko eroze zejména po výsevu kukuřice. Období po výsevu kukuřice do doby částečného zapojení porostu lze z hlediska eroze považovat za nejrizikovější. Jednu z možností eliminace erozního ohrožení pozemků při pěstování kukuřice představuje frézový výsev do nevymrzající meziplodiny, většinou se jedná o porosty trav. Spočívá v jarním řádkovém zpracování půdy v pásech pomocí půdních fréz se současným výsevem kukuřice v kombinaci s aplikací neselektivního herbicidu. Diskutabilní otázkou z hlediska kvalitního založení

porostů širokořádkových plodin je volba druhu vymrzající či nevymrzající meziplodiny. Nejčastěji využívanými druhy v podmínkách západní a střední Evropy jsou v rámci půdoochranných technologií pěstování širokořádkových plodin hořčice bílá a svazenka vratičolistá (Brant a kol., 2011).

Pozitivní vliv technologie pásového zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze prokázali v podmínkách České republiky např. Brant a kol. (2013). Pomocí řádkového zpracování půdy (strip-tillage) lze eliminovat degradační procesy půdy (eroze, poškození struktury půdy apod.) od sklizně předplodiny až po výsev silážní kukuřice na základě přítomnosti živých rostlin nebo jejich zbytků, či zbytků předplodiny na povrchu půdy (Brant a kol., 2011).

Jak uvádí Hůla a kol. (2008), rozhodující pro omezení erozních procesů je zachování rostlinných zbytků z předplodiny nebo mulče na povrchu půdy. Brant a kol. (2011) se shodují, že z hlediska eliminace kapkové eroze hrají rostlinné pokryvy půdy, případně posklizňové zbytky na povrchu půdy, významnou roli. Jak již bylo zmíněno, mezi nejproblematictější plodiny, které se vyznačují vysokým erozním ohrožením, patří kukuřice setá. (Brant a kol., 2011).

Podobně se ve své práci zmiňuje Edwards et al. (2000), kteří uvádějí, že efekt mulče tvořeného slámou má prokazatelný vliv na hodnoty kapkové eroze. Hodnoty kapkové eroze v jejich experimentu dosahovaly až o 36 % nižších hodnot při 20 % pokrytí půdy posklizňovými zbytky, než při pokrytí povrchu půdy posklizňovými zbytky pouze ve výši 5 %.

Choudhary et al. (1997) ve svém experimentu dospěli k podobným závěrům, že způsob zpracování půdy statisticky průkazně ovlivňuje hodnoty kapkové eroze. V pokusech bylo zjištěno, že při minimálním způsobu zpracování půdy byly hodnoty kapkové eroze o 58 až 60 % nižší, a při no-tillage způsobu zpracování půdy byly hodnoty kapkové eroze dokonce o 100 % nižší, než u orebního způsobu zpracování půdy. Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím výši kapkové eroze je struktura půdy a stabilita půdních agregátů, která úzce souvisí s obsahem organické hmoty v půdě. Na parcelách, kde byl aplikován rostlinný mulč, byl jednoznačně prokázán vyšší výskyt stabilních agregátů oproti kontrole (Le Guillou et al., 2012).

Yang and Madden (1993) prokázali, že se vzrůstající intenzitou deště narůstá množství vody, které se po dopadu na povrch půdy rozstříkne v podobě menších kapek. Naopak dopad kapek je velmi silně tlumen, je-li půda pokryta mulčem, v důsledku čehož jsou výrazně omezeny nežádoucí efekty, které působí rozstříknutá voda na povrchu půdy.

Avci, (2011) publikoval své výzkumy, ve kterých hodnotil konvenční zpracování půdy a ochranné zpracování půdy. Pokusy byly provedeny v centrálním Turecku, kde půdy mají vysoké riziko eroze, degradace a vyčerpání. Během roku zde ve většině měsíců přesahuje vypařování vody z půdy nad srážkami. Výsledky ukázaly, že konvenční systém je ekologicky nepřátelský (zvyšuje odpařování a náchylnost k erozi, přejezdy utužují půdu) a je nerentabilní v porovnání s technologickými postupy ochranného zpracování.

Vach a Javůrek (2011) napsali, že nekypřené nebo minimálně zpracované půdy jsou více rezistentní proti erozi, naproti půdám obdělávaným konvenčně. Erozi prokazatelně více odolávají rovněž půdy pokryté mulčem z rostlinných zbytků nebo účinněji rostlinným porostem. Při ochraně proti erozi jsou významné fyzikální vlastnosti půdy, jako je nezhuťnutý půdní profil a dostatečná pórovitost.

Stejně tak uvádí i Šimon (1999), že jednou z hlavních výhod půdoochranných technologií je omezení utužení půdy tím, že se omezí celkový počet přejezdů po poli. Oproti konvenčnímu zpracování je půda při použití půdoochranné technologie zatěžována v některých případech i o polovinu méně.

Levien et al. (1990) porovnávali vliv konvenčního zpracování půdy, kypření a setí do nezpracované půdy na erozi. Největší ztráty zaznamenali v případě konvenčního zpracování, pak kypření a nejméně při setí do nezpracované půdy. Zatímco ztráty vody byly nejmenší u kypření, u dalších dvou variant byly celkem shodné. Kritické období z hlediska eroze v případě pěstování kukuřice je první měsíc po zasetí. Před vodní erozí chrání půdu nejlépe rostlinstvo. Kořeny prorůstají povrchovou i spodnější vrstvou půdy a tím vážou půdu na své kořenové vlášení. Listová část plodin chrání půdu před prudkými nárazy dešťových kapek a udržuje půdu vlhčí, spíše odolávající erozi (Špička a kol., 1964).

3.7.2 Další příklady možné aplikace ochranného obdělávání podle Novotného a kol. (2014)

- A. Přímé setí do mulče z rostlinných zbytků předplodin
- B. Přímé setí do přezimující a vymrzající meziplodiny
- C. Setí do mulče meziplodin
- D. Výsev ochranné podplodiny v pásech a meziřadích (setí s podplodinou)
- E. Setí kukuřice do úzkého řádku
- F. Pásové zpracování půdy
- G. Plečkování a podryvání

Jak již bylo zmíněno v kapitole Půdoochranné způsoby zpracování půdy u širokořádkových plodin. Kde jsou uvedeny možné aplikace ochranného obdělávání půdy u širokořádkových plodin. Výše jsou uvedeny další příklady ochranného obdělávání půdy, přičemž je zde mimo jiné uvedena nová technologie, která je v současnosti testována a jedná se o setí kukuřice do úzkého řádku.

3.7.3 Setí kukuřice do úzkého řádku

Jak již bylo výše zmíněno, jako jedna z možné aplikace ochranného obdělávání půdy je setí kukuřice do úzkého řádku. Jde o novou technologii a myšlenka setí kukuřice do užších řádků se řeší, projednává a zemědělci takto experimentují v průběhu posledních 30 let, aniž by byla zavedena ve velkém měřítku (Swoboda, 1996). Technologie, která je v současné době testována, kdy je secí stroj nastaven na výsevní vzdálenost řádku kukuřice maximálně na 45 cm. Zrna jsou seta v trojúhelníkovém sponu v počtu cca 85-90 tisíc jedinců na 1 ha. Zúžená rozteč řádků zajistí rovnoměrnější zapojení porostu, čímž je omezena síla soustředěného povrchového odtoku a dochází k částečnému zvýšení ochrany půdy proti erozi. Tato technologie se doporučuje kombinovat se setím do mulče (Novotný a kol., 2014).

Šířka řádků je jeden z hlavních faktorů ovlivňujících erozi na orné půdě. Úzké řádky jsou spojovány s vyšším zachycením záření obilninami (Ottman a Welch, 1989; Sangoi, 2001; Andrade et al. 2002; Coulter, 2009) a tím spojovány s otázkou zvyšování výnosů (Westgate et al. 1997; Brant a kol., 2015). Tuto teorii potvrdili Fulton (1970), Bullock et.al (1988) a Murphy et al. (1996) z jejichž výsledků byl patrný vyšší výnos u kukuřice vyseté do užších řádků.

Rostliny kukuřice vyseté do užších řádků dále zvyšují evapotranspiraci v porovnání s širšími řádky (Barbieri et al., 2008).

Dle Olsona a Sandera (1988) a Portera a kol. (1997) má zúžení řádků jisté výhody, a ty jsou následující, dochází ke snížení konkurence o světlo, vodu a živiny mezi rostlinami. Díky snížení prostupnosti světla mezi rostlinami, dochází ke snížení dopadajícího světla na zem, a tím zamezení růstu plevelů (Gunsolus, 1990; Teasdale, 1995; Johnson et al., 1998). Uppenkamp (2007); Nübel (2008) a Mohammadi et al. (2012) uvádějí, že zúžení šířky řádků u kukuřice, přispívá k eliminaci vodní eroze. Dále přispívá ke zvýšení ochrany půdy, snížení odtoku vody a jak již bylo zmíněno snížení půdní eroze (Sangoi a Salvador, 1998; Mannering a Johnson, 1969).

Výsledky pokusu Liu et al. (2016) ukázaly, že se naměřená kapková eroze po srážkové události v porostech kukuřice s užšími řádky liší ve fázích růstu kukuřice, jelikož struktura porostu kukuřice je odlišná v každé růstové fázi. Jak publikují Geißler et al., (2012) liší se zejména ve výšce a struktuře porostu. Mannering a Johnson (1969) ve svém pokusu rozmístili plodiny ve třech šířkách řádků a to, 0,51; 0,76 a 1,02 m. Během prvních 5 týdnů po zasetí nebyla půda dostatečně pokryta porostem a díky tomu nedocházelo k eliminaci kapkové eroze. Ovšem po 7. až 8. týdnu po zasetí došlo k nárůstu listové plochy a u řádků o šířce 0,51 m bylo statisticky prokázáno snížení eroze.

Dle Neave and Abrahams (2002) jsou erozní procesy ovlivňovány díky propadlým srážkám stokem po stonku kukuřice. Až jedna třetina stoku vody po stonku dle Buie and Boxe (1992) přispívá k povrchovému odtoku. Myšlenku výhody užších řádků publikuje Paltineanu a Starr (2000), kteří tím potvrzují pozitivní vztah mezi množstvím srážek (nezávislá proměnná) a hodnotami propadu srážek a stoku proudění v obilných plodinách. Dále zdůrazňují fakt, že při nižších srážkách se poměr stoku po stonku ve vztahu k propadu srážek zvyšuje. Z těchto výsledků vyplývá, že s vyššími srážkami se hodnota tohoto poměru snižuje. Liu et al. (2015) vysvětlují, že stok vody po stonku v kukuřici se zvyšuje lineárně v souvislosti s celkovým množstvím srážek. Brückler et al. (2004) zjistili, že nejvyšší hodnoty propadu srážek v řádcích o šířce 0,75 m jsou přesně uprostřed.

3.8 Eroze zemědělské půdy a legislativa ČR

Problémy erozního ohrožení zemědělské půdy jsou v České republice, obdobně jako v dalších evropských zemích, řešeny i v rámci Kontroly podmíněnosti, která definuje standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (GAEC). GAEC zajišťuje zemědělské hospodaření ve shodě s ochranou životního prostředí. Problematiku eroze půdy v České republice řeší standardy GAEC 1 a GAEC 2 (Ministerstvo zemědělství ČR).

Termín GAEC označuje standardy hospodaření, které jsou definované členskými státy Evropské unie a zajišťují zemědělské hospodaření ve shodě s ochranou životního prostředí. Plnění standardů GAEC se týká všech žadatelů o přímé platby a podpory v zemědělství. Kontrolu dodržování standardů vykonává Státní zemědělský intervenční fond (SZIF), který přímo nebo nepřímo ověřuje aktuální stav na veškeré zemědělské půdě obhospodařované žadatelem, který byl ke kontrole vybrán (Brtnický a kol., 2012).

3.8.1 GAEC 1

Tento standard se zabývá problematikou ochrany půdy na svažitéch pozemcích, jejichž průměrná sklonitost přesahuje 7 °. Na těchto pozemcích s druhem kultury orná půda je žadatel povinen po sklizni plodiny založit porost následné plodiny, případně zajistí alespoň jedno z následujících opatření:

1. strniště sklizené plodiny je ponecháno na půdním bloku, popřípadě jeho dílu minimálně do 30. listopadu, jestliže to není v rozporu s GAEC 2
2. půda zůstane zorána, popřípadě podmítnuta za účelem zasakování vody min. do 30. listopadu, jestliže operace není v rozporu s GAEC 2 (Ministerstvo zemědělství ČR), (Novotný a kol., 2014).

3.8.2 GAEC 2

Cílem je především ochrana půdy před vodní erozí a snaha omezit negativní působení důsledků eroze, jako jsou například škody na obecním a soukromém majetku způsobené zaplavením nebo zanesením splavenou půdou (Novotný a kol., 2014).

Na pozemcích, které jsou v systému evidence půdních bloků (LPIS) označeny jako silně erozně ohrožené (SEO) se nesmějí pěstovat širokořádkové plodiny: kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok. Porosty obilnin a řepky olejné na takto označené ploše budou zakládány s využitím půdoochranných technologií, které jsou definovány v CC. Na pozemcích, které jsou v LPIS klasifikovány jako mírně erozně ohrožené (MEO), vyplývá pro zemědělce a farmáře povinnost zajistit, že širokořádkové plodiny: kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok budou zakládány pouze s využitím půdoochranných technologií uvedených výše, nebo s využitím specifických půdoochranných technologií na MEO plochách (Ministerstvo zemědělství ČR).

4 MATERIÁL A METODIKA

Hodnocení vlivu rozdílné struktury porostů kukuřice seté na hodnoty kapkové eroze a porostní srážky bylo prováděno na základě přesných polních experimentů. Byly hodnoceny porosty s roztečí řádků kukuřice 0,45 m a 0,75 m. Stanovení kapkové eroze a propadu porostní srážky bylo provedeno pomocí záchytných trychtýřů. Práce byla zpracována jako experimentální.

4.1 Pokusná lokalita

Polní pokusy byly prováděny v letech 2012-2014 v katastrálním území Budihostice, ve středních Čechách (50°04'34.45"N, 14°09'22.351"E). Tato lokalita se nachází v nadmořské výšce 233 m n.m. Půdní jednotkou je zde černozem typická.

Podíl průměrné sumy srážek (P , mm) a průměrné sumy potenciální evapotranspirace (P/Eo) za normálové období (1961–1990) pro dané území, bylo přibližně 0,8–0,9 (Pivec et al., 2006).

V následující tabulce 1 jsou uvedeny průměrné zrnitosti půdy na hodnocené lokalitě.

Tabulka 1 - Průměrná zrnitost půdy testovaných míst, naměřená na jaře roku 2012 v Budihosticích.

Půdní částice	Průměrné zastoupení v půdě
< 0,01 mm	24,74 %
0,01–0,05 mm	13,05 %
0,05–0,1 mm	9,48 %
0,1–2 mm	52,73 %.

4.2 Schéma pokusu a pokusné varianty

Hodnocenou plodinou v pokusu byla kukuřice setá (hybrid PR38N86). Celková výměra pokusné plochy výsevu činila v každém roce 0,5 ha. Termíny výsevu, počet rostlin na ha a průměrná vzdálenost mezi rostlinami jsou uvedeny v Tabulce 2. V týdenních intervalech byla sledována produkce nadzemní biomasy a délka rostlin. Obrázky 3 a 4 dokumentují stav porostů během vegetace.

Tabulka 2 - Termíny výsevu, počet rostlin na ha a průměrná vzdálenost mezi rostlinami, tři týdny po výsevu. V letech 2012, 2013 a 2014.

Rok	Termín výsevu	Šířka řádku (m)	Počet rostlin na ha (ks)	Průměrná vzdálenost mezi rostlinami (m)
2012	19.4.	0,45	88 889	0,271
		0,75	89 333	0,151
2013	19.4.	0,45	87 778	0,259
		0,75	89 333	0,156
2014	15.4.	0,45	85 556	0,266
		0,75	86 667	0,154

Obrázek 3 - Stav porostů kukuřice seté 23.5.2012, řádky 0,45 m (vlevo) a 0,75 m (vpravo), (foto Brant)



Obrázek 4 - Stav porostů kukuřice seté 7.10.2013, řádky 0,45 m (vlevo) a 0,75 m (vpravo), (foto Brant, 2013)



4.3 Agrotechnika

Základním zpracováním půdy na pokusné ploše byla podzimní orba. Předseťová příprava byla prováděna za použití kompaktoru. K osetí bylo využito šestiřádkového secího stroje typu Kverneland Accord Optima HD, jak lze vidět na obrázku 5; šířky řádků byly 0,45 m a 0,75 m.

Ochrana rostlin a hnojení bylo identické pro obě pokusné plochy. K přihnojení došlo plošně po zasetí, z důvodu rozdílných trajektorií přihnojovacích disků a výsevních sekcí při šířce řádků 0,45 m nebylo při obou výsevech využito hnojení pod patu. Pokusné plochy nebyly zavlažovány. Předplodinou byla ozimá pšenice.

Obrázek 5 - Pro výsev byl použit šestiřádkový secí stroj Kverneland Accord Optima HD, výsev do řádků 0,45 m vlevo a 0,75 m vpravo, (foto Brant)



4.4 Hodnocení charakteristiky

4.4.1 Kapková eroze

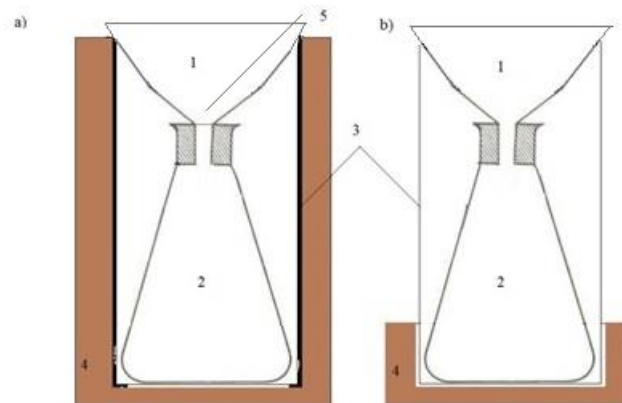
Hodnoty kapkové eroze byly měřeny pomocí modifikované metody záchytných trychtýřů dle Bollinne (1975), obrázek 2. Dle této metody jsou záchytné trychtýře vloženy do půdy tak, aby jejich přesah byl 1–2 mm nad terénem. Toto uložení eliminuje zachycení povrchového odtoku. Rozstříknutý materiál je při srážce trychtýřem zachycen a po přefiltrování a vysušení může být zvážen (Morgan, 2005).

V popisovaném pokusu, bylo pro každou parcelu rozmístěno 5 trychtýřů se sběrnými lahvemi s uzávěrem o objemu 0,5 l. Umístěny byly do středu meziřádků porostu kukuřice. Plastové trychtýře o vnějším průměru trychtýře 125 mm s výpustí o vnitřním průměru 25 mm, byly umístěny 4 mm nad povrchem půdy. Z důvodu preventivního opatření proti zachycení povrchového odtoku. Do kruhového otvoru uzávěru láhve byla vlepena násypka. Mezi láhev a její uzávěr byla umístěna plastová síť s obdélníkovými oky 1 x 1,5 mm, která vytvořila sítko. Schéma instalace záchytných trychtýřů dokumentují obrázky 6 a 7. Po každé srážkové události s celkovým úhrnem srážek přesahující 2 mm, následoval odběr vzorku půdy. Zachycená suspenze byla filtrována a usušena na konstantní hmotnost. Na základě množství půdy v trychtýři byl poté vyhodnocen skutečný obsah látek na jednotku objemu půdy (MSR g/m²), za použití algoritmu podle Poesen and Torri (1988):

$$MSR = MS \cdot e^{0,054 \cdot D}$$

MRS představuje množství rozstříknuté zeminy na jednotku plochy (g/cm²), MS zachyceného množství rozstříknuté půdy na plochu trychtýře. (g/cm²) a D je průměr záchytného trychtýře (cm).

Obrázek 6 - Schéma měření kapkové eroze(a) a propadu (b); umístění záchytného trychtýře (Vopolková, 2017); 1 – nálevka; 2 – láhev; 3 – trubice; 4 – půda; 5 – síto



Obrázek 7 - Instalace záchytných trychtýřů pro měření kapkové eroze (foto Brant, 2010)



Hodnoty kapkové eroze byly stanovovány po jednotlivé srážkové události. Na konci vegetačního období byla také vyhodnocena stabilita půdního agregátu na testovaných místech (SAS) za použití metody mokrého prosívání, dle návodu výrobce Ejkelkamp, Giesbeek, NL. Přístroj pro mokré prosívání slouží ke zjištění stability půdních agregátů, určené na základě faktu, že rozpad nestabilních agregátů je snadnější než agregátů stabilních, ponořených ve vodě. Na každé variantě byly odebrány čtyři průměrné vzorky půdy (vrstva půdy 0-0,1 m).

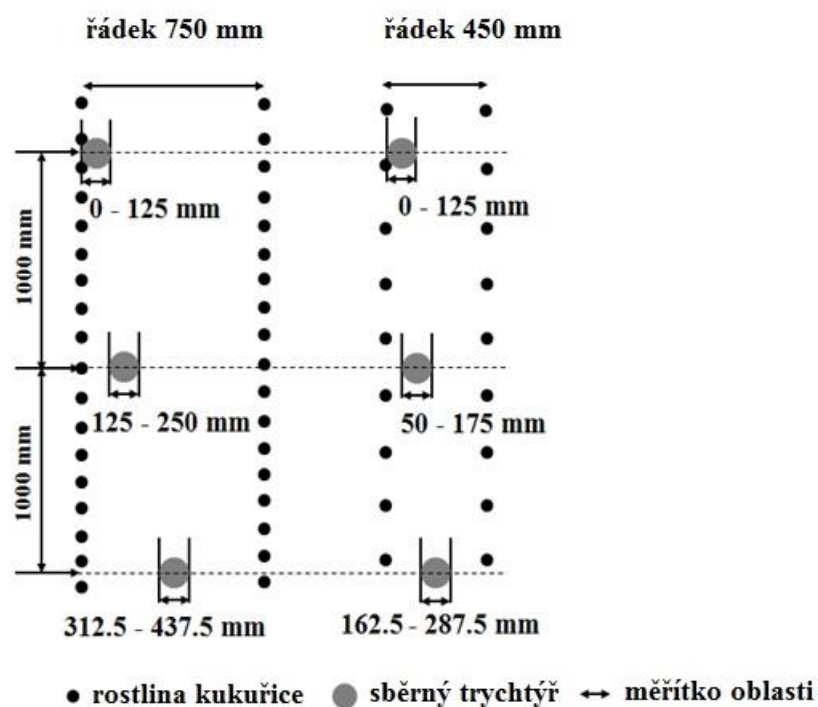
4.4.2 Propad srážkové vody

Propad srážkové vody neboli porostní srážka (P_{th} , mm) byla měřena pomocí sběrných trychtýřů o průměru 125 mm se záchytnou nádobou o objemu 0,5 l, identických s těmi z měření kapkové eroze (bez síta mezi trychtýřem a lahví) – jak je vidět na obrázku 6.

Množství zachycené vody bylo určeno hmotnostně a následně vyjádřeno v mm vodního sloupce. Sběrná plocha se nacházela 200 mm nad povrchem půdy, a to z důvodu eliminace znečištění zeminou.

Byla zvolena tři sběrná místa pro odběr vzorků propadu srážek, dle schématu na obrázku 8.

Obrázek 8 - Schéma umístění trychtýřů v porostu kukuřice pro měření propadu srážek s 0,75 m a 0,45 m širokých řádků.



Sedm variant sběrných trychtýřů (celkově 21 trychtýřů na každou variantu porostu) bylo nainstalováno v každé zóně měření propadu srážkové vody. Jejich rozmístění, zobrazené na Obrázku 8, bylo v řádcích kukuřice o šířkách 0,45m a 0,75 m. Hodnoty porostní srážky byly opět stanovovány po jednotlivé srážkové události jako hodnoty *MSR*.

Dva sběrné trychtýře byly umístěny ve výšce 3,5 m (horní okraj trychtýře) nad zemí. Tyto trychtýře byly používány k určení atmosférické srážky nadporostní (*P*, mm). Důvodem bylo porovnávání P_{th} a *P* za použití stejných sběrných zařízení. Hodnoty *P* a P_{th} , a podobně *MSR*, byly určeny pro měřené období v závislosti na trvání srážek.

Ověření přesnosti měření nadporostních srážek (*P*, mm) za použití sběrných zařízení, bylo provedeno porovnáním průměrných hodnot srážek se standardními hodnotami srážek (P_{rg} , mm) naměřenými automatickým srážkoměrem SR 03 - Meteoservis, Vodňany.

Závislost mezi *P* a P_{rg} je vyjádřena následujícím modelem:

$$P = 0,849 \times P_{rg}, r = 0,996 \text{ (v roce 2012)}$$

$$P = 0,939 \times P_{rg}, r = 0,993 \text{ (v roce 2013)}$$

$$P = 0,947 \times P_{rg}, r = 0,997 \text{ (v roce 2014)}$$

r = korelační koeficient

4.4.3 Statistické vyhodnocení

Statistické analýzy byly provedeny v Stat-graphics®*Plus* 4.0 (Statgraphics, Warrenton, USA). Analýzy odchylek (ANOVA, Tukeyho test, $\alpha = 0.05$) s použitím jednoduché regrese.

5 VÝSLEDKY

5.1 Atmosférické srážky a porostní srážky

Velikost a počet hodnocených srážek od roku 2012-2014 a průměr poměru P/P_{th} (mm; průměrné hodnoty z hodnocené oblasti), v závislosti na celkovém úhrnu srážek jsou uvedeny v Tabulce 3. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí 1,44–6,75.

V pozorovaném období byl zjištěn nejvyšší průměrný podíl porostních srážek P_{th} (%) ($P = 100\%$) na řádcích o šířce 0,75 m. Tento podíl je nejvyšší ve středu meziřádku a snižuje se směrem k řádku s rostlinami (graf 1).

Na řádcích o šířce 0,45 m, byl podíl P_{th} (%) vzhledem k P nižší než na řádcích o šířce 0,75 m v celé hodnocené oblasti, jak je vidět na grafu 1.

Průměrná hodnota podílu propadu srážek (P/P_{th}) v hodnoceném období v letech 2012–2014 byla na řádcích o šířce 0,75 m následující:

- v zóně 0–125 mm byl podíl propadu srážek 35,9%;
- v zóně 125–250 mm byl podíl propadu srážek 47,6%;
- v zóně 312,5–437,5 mm byl podíl propadu srážek 53,8%.

Průměrná hodnota podílu propadu srážek (P/P_{th}) v hodnoceném období v letech 2012-2014 byla na řádcích o šířce 0,45 m:

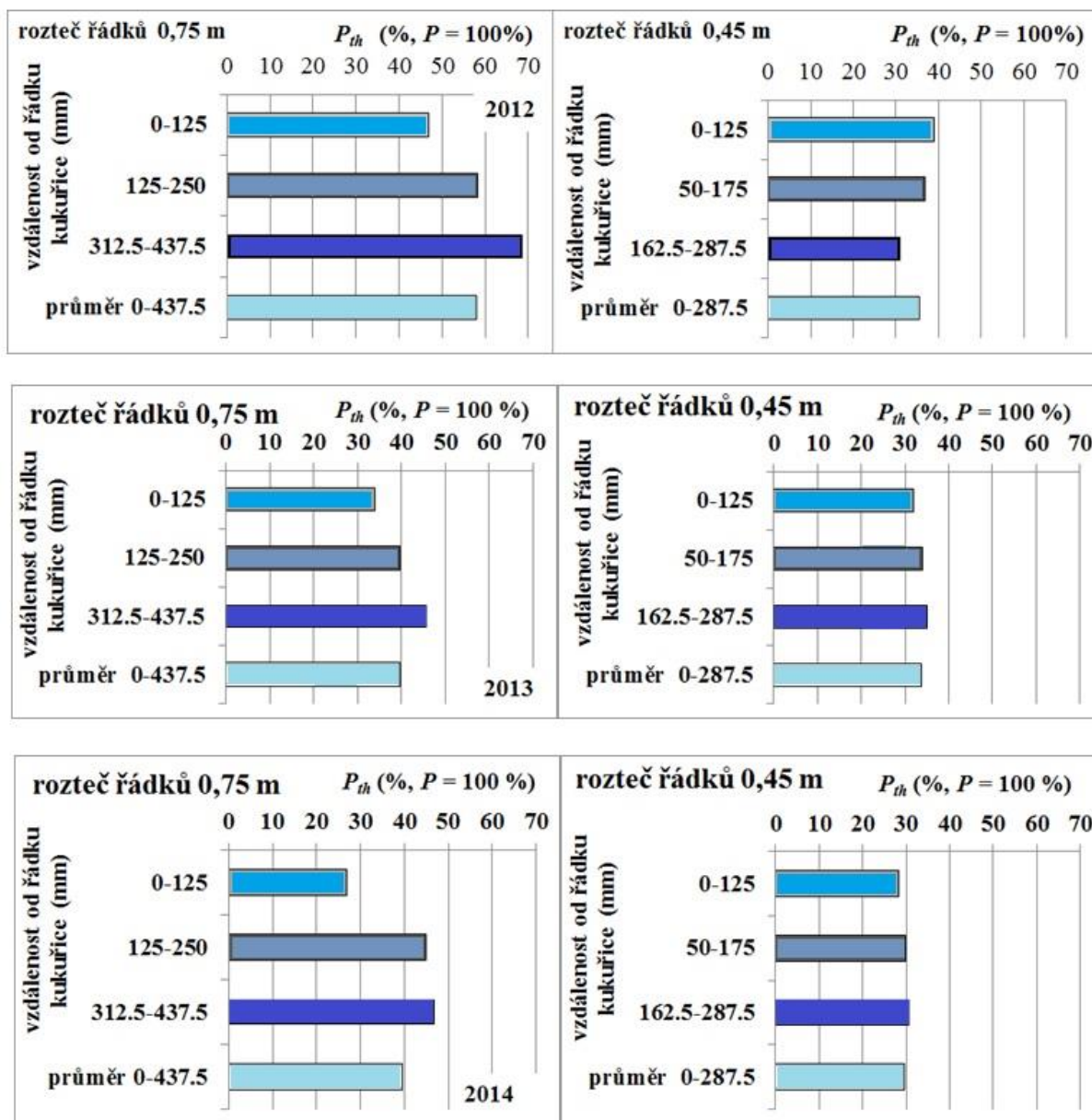
- v zóně 0–125 mm byl podíl propadu srážek 33,1%;
- v zóně 50–175 mm byl podíl propadu srážek 33,5%;
- v zóně 162,5–278,5 mm byl podíl propadu srážek 32,3%.

Z těchto výsledků je patrné, že s narůstající hodnotou atmosférické srážky byly u porostů s řádky 0,75 m prokázány vyšší hodnoty porostní srážky ve srovnání s porosty s řádky 0,45 m.

Tabulka 3 – Vybrané srážkové události v letech 2012-2014 a poměr sumy atmosférické srážky a porostní srážky P/P_{th} (srážky/propad) v porostech kukuřice s řádky 0,45 m a 0,75 m.

Srážkový úhrn (mm)	Počet vybraných událostí		P/P_{th}						
			Šířka řádků (m)						
			0,75	0,45	0,75	0,45	0,75	0,45	
	2012	2013	2014	2012	roky		2013	2014	
0 ≤ 2	2	0	1	1,44	3,48			4,07	6,75
2 ≤ 5	5	1	5	1,48	2,52	4,14	1,99	2,85	3,21
5 ≤ 10	5	4	3	2,32	4,13	1,99	3,06	2,55	2,71
10 ≤ 15	2	3	0	2,58	4,88	3,36	4,91		
15 ≤ 20	0	1	1			3,73	4,52	1,54	2,18
20 ≤ 25	0	0	0						
25 ≤ 30	0	1	0			3,58	5,19		
30 ≤ 35	1	1	1	2,31	3,38	4,16	4,63	2,61	3,42
> 35	0	1	2			1,33	1,65	2,93	2,86
Celkem	15	12	13						

Graf 1 - Vliv šířky řádků u kukuřice na hodnoty porostní srážky (P_{th} , %) v rámci meziřádku v letech 2012-2014; vyjádřené jako podíl z atmosférické srážky (P , mm), která představuje 100 %.



Graf 1 dokumentuje průměrné hodnoty porostní srážky vůči atmosférické srážce v hodnocených porostech. V rámci porostů byl nejvyšší průměrný podíl porostní srážky (atmosférická srážka = 100 %) za sledované období v rámci vegetace stanoven v řádcích 0,75 m. Směrem od středu meziřádku (0,75 m), k řádku rostlin hodnota podílu porostní srážky na srážce atmosférické klesala. V porostech s řádky 0,45 m byly hodnoty tohoto podílu ve srovnání s řádky 0,75 m ve všech hodnocených zónách nižší.

5.2 Kapková eroze, atmosférické srážky a porostní srážky (propad)

Naměřené výsledky kapkové eroze (MSR , g/m^2) v letech 2012–2014, o šířce řádků 0,75 m a 0,45 m v silážní kukuřici, jsou uvedeny v tabulce 4.

Statisticky významně nižší hodnoty kapkové eroze byly zjištěny v silážní kukuřici o šířce řádků 0,45 m, v porovnání s hodnotami získanými z řádků o šířce 0,75 m, zvláště v letech 2012 a 2014.

Pozitivní vliv řádků o šířce 0,45 m na eliminaci kapkové eroze nebyl prokázán v roce 2013. Jelikož na začátku roku 2013 došlo k významné srážkové události (kdy bylo naměřeno 52 mm srážek). Tato událost měla výrazný vliv na výsledky, jak je zřejmé z tabulky 4.

Hodnoty kapkové eroze (MSR) se pohybovaly v roce 2012 mezi 11,8–557,8 g/m^2 ; v roce 2013 8,1–2630,8 g/m^2 ; a v roce 2014 44,0–839,9 g/m^2 (tabulka 4).

Pozitivní vliv mezi sumou atmosférické srážky (P , mm) a hodnotou kapkové eroze (MSR , g/m^2) v letech 2012–2014 lze vidět na grafu 2.

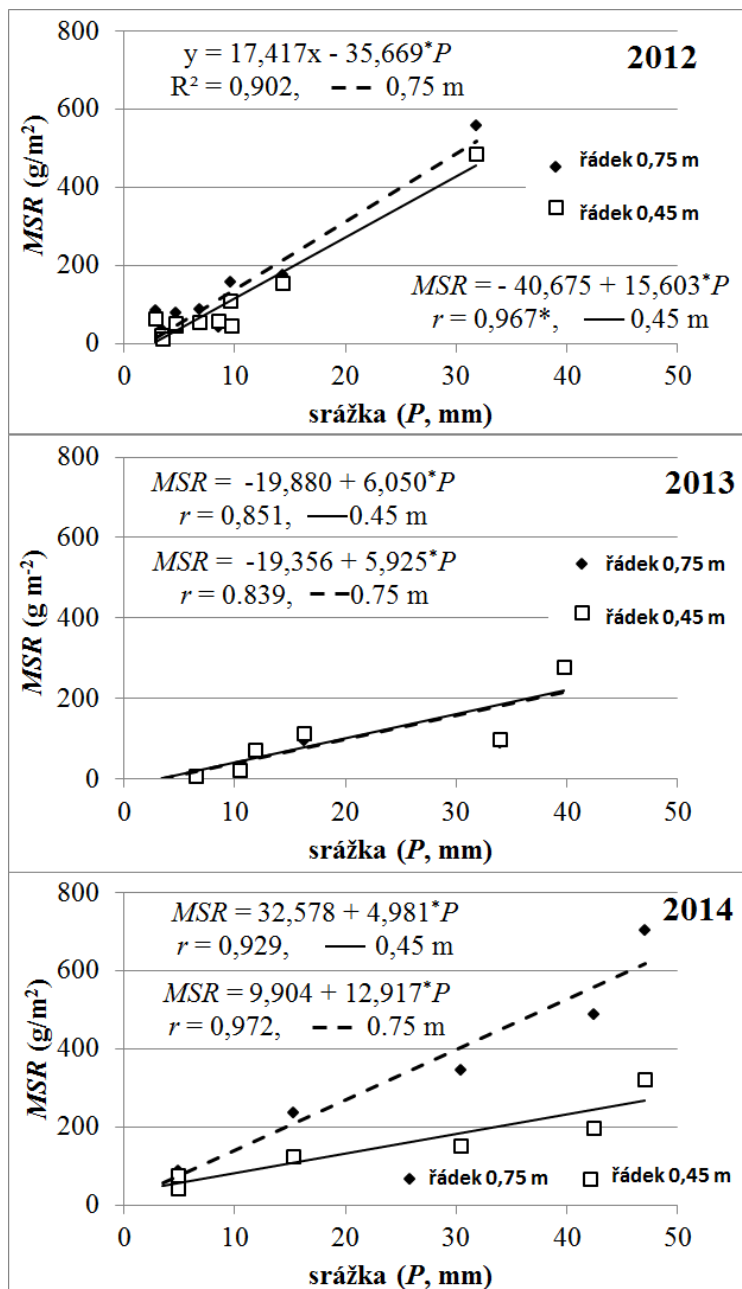
Z podrobné analýzy naměřených dat je patrné, že pozitivní vliv byl také prokázán mezi hodnotami kapkové eroze (MSR , g/m^2) a hodnotami porostních srážek (P_{th} , mm), jak je zřejmé z tabulky 5.

Nejvyšší korelace byla zjištěna na řádcích o šířce 0,45 m mezi hodnotou propadu srážkové vody (P_{th}) a kapkovou erozí (MSR) a to v letech 2012 a 2013 v zóně 0–125 mm. Poté byla v roce 2014 zjištěna v zóně 50–175 mm u řádků o šířce 0,45 m (tabulka 5).

V porostech s řádky 0,75 m byla nejvyšší korelace mezi propadem srážek (P_{th}) a kapkovou erozí (MSR) stanovena vždy v zóně 125–250 mm (tabulka 5). Naopak nejnižší korelace u řádků s šířkou 0,75 m byla stanovena v zóně 0–125 mm.

Z hlediska rozdílných hodnot porostní srážky v hodnocených zónách je patrné, že prostorové rozmístění listů a jejich orientace v rámci řádku, včetně úhlu svírajícího se stéblem, neovlivňuje jen míru využití slunečního záření, transpirační a evapotranspirační nároky porostu a výnosy, ale také může zvyšovat nebo snižovat erozní rizika.

Graf 2 - Vliv šířky řádků na hodnoty kapkové eroze (MSR , $g\ m^{-2}$) v závislosti na atmosférických srážkách (P , mm) v roce 2012, 2013 a 2014. Tyto modely byly prováděny v období 11.6.-18.7. 2012; 24.6.-13.8.2013 a v období 15.6.-6.8. 2014. r – korelační koeficient; *hladina spolehlivosti 95%



Tabulka 4 - Hodnoty kapkové eroze (MSR , g/m^2) v kukuřici s různou šířkou řádků v letech 2012-2014. Rozdílné indexy a/b mezi průměry v rámci sloupců dokumentují statisticky významné rozdíly ($\alpha = 0,05$).

Šířka řádků (mm)	2012													
	Období													
	21.5.- 23.5.	23.5.- 1.6.	1.6.- 4.6.	4.6.- 11.6.	11.6.- 12.6.	12.6.- 21.6.	21.6.- 29.6.	29.6.- 1.7.	1.7.- 2.7.	2.7.- 3.7.	3.7.- 5.7.	5.7.- 9.7.	9.7.- 16.7.	18.7.- 23.7.
450	271,1 a	166,8 a	158,7 a	20,6 a	45,6 a	108,4 a	11,8 a	65,3 a	55,5 a	487,3 a	51,1 a	154,7 a	45,0 a	58,1 a
750	280,5 a	225,9 a	223,1 b	35,5 a	77,8 b	158,4 b	26,0 a	84,7 b	88,2 b	557,8 a	48,1 a	175,6 a	42,3 a	44,2 a

	2013													
	15.5.- 20.5.	20.5.- 23.5.	23.5.- 27.5.	27.5.- 31.5.	31.5.- 5.6.	5.6.- 10.6.	10.6.- 11.6.	24.6.- 25.6.	25.6.- 26.6.	26.6.- 3.7.	26.7.- 30.7.	30.7.- 5.8.	5.8.- 7.8.	7.8.- 13.8.
450	970,6 a	56,8 a	418,6 a	627,4 a	886,2 a	2622,6 a	50,2 a	279,7 a	8,1 a	230,4 b	99,4 a	113,1 a	73,9 a	22,9 a
750	800,5 a	49,5 a	381,2 a	559,4 a	892,4 a	2630,8 a	81,0 b	282,4 a	12,2 a	166,0 a	91,0 a	97,3 a	74,1 a	28,2 a

	2014													
	19.5.- 22.5.	22.5.- 26.5.	26.5.- 28.5.	28.5.- 30.5.	30.5.- 26.6.	26.6.- 30.6.	30.6.- 9.7.	9.7.- 15.7.	15.7.- 22.7.	22.7.- 28.7.	28.7.- 6.8.			
450	309,8 b	604,4 A	789,4 A	244,3 a	124,3 a	75,3 a	322,7 a	53,8 a	152,3 a	198,5 a	44,0 a			
750	257,5 a	598,6 A	839,9 A	283,5 a	238,1 b	88,9 a	705,2 b	102,7 b	347,4 b	488,6 b	62,4 b			

Tabulka 5 - Vliv propadu srážkové vody (P_{th} , mm) na kapkovou erozi (MSR , g/m², měřeno uprostřed řádku) ve 3 vzdálenostech v řádcích kukuřice seté (šířka řádků 0,45 m a 0,75 m) v letech 2012, 2013, 2014.

Šířka řádků (mm)	Vzdálenost od řádků kukuřice (mm)	Rok 2012		Rok 2013		Rok 2014	
		MSR	r	MSR	r	MSR	r
450	0-125	$MSR = -38,932 + 43,303 \cdot P_{th}$	0,937*	$MSR = 10,278 + 13,448 \cdot P_{th}$	0,948*	$MSR = 23,463 + 16,282 \cdot P_{th}$	0,968*
	50-175	$MSR = -48,279 + 46,288 \cdot P_{th}$	0,875*	$MSR = 25,422 + 12,301 \cdot P_{th}$	0,934*	$MSR = 32,597 + 14,208 \cdot P_{th}$	0,995*
	162,5-287,5	$MSR = -40,597 + 55,690 \cdot P_{th}$	0,867*	$MSR = 16,979 + 12,084 \cdot P_{th}$	0,919*	$MSR = 32,513 + 13,246 \cdot P_{th}$	0,983*
	průměr 0-287,5	$MSR = -44,193 + 48,405 \cdot P_{th}$	0,901*	$MSR = 17,113 + 12,684 \cdot P_{th}$	0,937*	$MSR = 28,8448 + 14,5919 \cdot P_{th}$	0,987*
750	0-125	$MSR = -53,086 + 47,654 \cdot P_{th}$	0,946*	$MSR = 2,762 + 14,920 \cdot P_{th}$	0,869*	$MSR = 83,508 + 2,712 \cdot P_{th}$	0,792*
	125-250	$MSR = -73,629 + 42,928 \cdot P_{th}$	0,971*	$MSR = 15,019 + 10,296 \cdot P_{th}$	0,941*	$MSR = -37,442 + 32,372 \cdot P_{th}$	0,974*
	312,5-437,5	$MSR = -77,233 + 37,281 \cdot P_{th}$	0,958*	$MSR = 14,280 + 8,781 \cdot P_{th}$	0,926*	$MSR = 16,900 + 24,739 \cdot P_{th}$	0,958*
	průměr 0-437,5	$MSR = -70,885 + 42,626 \cdot P_{th}$	0,963*	$MSR = 8,749 + 11,169 \cdot P_{th}$	0,934*	$MSR = -13,450 + 34,680 \cdot P_{th}$	0,969*

6 DISKUZE

6.1 Atmosférické srážky a porostní srážky

Z výsledků pokusu byl zjištěn pozitivní vztah mezi hodnotou atmosférické srážky a hodnotou propadlé srážkové vody do porostu. Hodnoty propadu srážek (P_{th}) byly podstatně nižší v kukuřici s šířkou řádků 0,45 m v porovnání s výsledky v kukuřici s šířkou řádků 0,75 m, zvláště při vyšších sumách atmosférických srážek. Neave a Abrahams (2002) uvádějí, že díky propadlé srážkové vodě, v porostu kukuřice přispívá k erozním procesům stoku vody po stonku kukuřice. Dle Buie a Boxe (1992) až jedna třetina stoku vody po stonku přispívá k povrchovému odtoku. Zjištěný výsledek pozitivního vztahu mezi atmosférickými srážkami a propadem srážek je v souladu s výsledky Paltineanu a Starr (2000), kteří publikují myšlenku výhody užších řádků a potvrzují ve svých pokusech pozitivní vztah mezi množstvím srážek a hodnotami propadu srážkové vody. Dále zdůrazňují fakt, že při nižších srážkách se poměr stoku po stonku ve vztahu k propadu srážkové vody zvyšuje. Výsledky Paltineanu a Starr (2000) se tedy i v tomto případě shodují s výsledky našeho pokusu, že s vyššími srážkami se hodnota poměru stoku vody po stonku a propadu srážek snižuje. Ke stejnému výsledku dospěla Liu et al. (2015), která ve svých výsledcích uvádí, že stok vody po stonku v kukuřici se zvyšuje lineárně v souvislosti s celkovým množstvím atmosférických srážek.

Nejnižší průměrná hodnota 35,9% podílu propadu srážek (P/P_{th}) v hodnoceném období v řádcích s kukuřicí o šířce 0,75 m byla v zóně 0-125 mm. Nejvyšší průměrný podíl propadu srážkové vody (P/P_{th}) 53,8% byl stanoven uprostřed meziřádků v zóně 312,5-437,5 mm u kukuřice v řádcích o šířce 0,75 m, v souladu s výsledky Brücklera et al. (2004). Podíl atmosférických srážek a propadu srážek (P/P_{th}) byl nejvyšší ve středu meziřádku a snižoval se směrem k řádku s kukuřicí. Tyto výsledky byly zapříčiněny nezapojením listové plochy ve středu meziřádku. Díky tomuto vzniklému volnému prostoru v meziřádku docházelo v tomto místě k výraznému přímému propadu srážkové vody na povrch půdy a k intenzivnímu odkapu vody z konců listů do meziřádku. Vliv odkapu vody z listů a shromažďování vody uprostřed meziřádku má vliv na zvýšení kapkové eroze. Tento jev je zdůrazňován v publikacích Špička et al. (1964), Brandta (1989), Morgana (2005) a Gemerlová a kol. (2013).

V případě řádků o šířce 0,45 m nebyl tento jev tak jasně zřejmý, jelikož řádky jsou podstatně blíže a plocha meziřádku nepokrytá listovím je ve srovnání se širšími řádky menší. V důsledku překrývání listů dochází u užších řádků k efektu předávání vody mezi listy, která je následně sváděna ke stéblu, po němž odtéká. Propad kapek ve středu meziřádku byl

nejnižší u šířky řádku 0,45 m. Nejnižší průměrný podíl propadu srážkové vody (P/P_{th}) byl 32,3% v zóně 162,5-278,5 mm a nejvyšší průměrný podíl propadu srážek 33,5 % byl v zóně 0-125 mm.

Z výsledků je tedy patrné, že snížení šířky řádků kukuřice z 0,75 m na 0,45 m má za výsledek snížení hodnot propadu srážkové vody a přispívá tím k eliminaci kapkové eroze. Jelikož vyšší zakrytí povrchu půdy a případný zvýšený odtok vody po stéble u užších řádků přispívá k eliminaci degradace půdních agregátů kinetickou energií přímo dopadajících nebo odkapávajících kapek. Ke stejným výsledkům dospěli Upenkamp (2007), Nübel (2008) a Mohammadi et al. (2012), kteří ve svých výsledcích uvádějí, že zúžení šířky řádků u kukuřice přispívá k eliminaci vodní eroze. Dále přispívá ke zvýšení ochrany půdy, snížení odtoku vody a jak již bylo zmíněno ke snížení vodní eroze, což koresponduje s výsledky našeho pokusu a s výsledky pokusu Mannering a Johnson (1969) a Sangoi a Salvador (1998), kteří ve svém výzkumu dospěli ke stejným závěrům. Díky užším řádkům v porostu kukuřice seté dochází ke snížení vodní eroze.

6.2 Kapková eroze, atmosférické srážky a porostní srážky

Z výsledků uskutečněného pokusu byl prokázán pozitivní vztah mezi celkovými atmosférickými srážkami, propadem srážek a hodnotami kapkové eroze (MSR). Nižší hodnoty kapkové eroze (MSR) byly naměřeny na řádcích o šířce 0,45 m v porovnání s řádky o šířce 0,75 m, což je v souladu s výsledky Mannering a Johnson (1969), Sangoi a Salvador (1998), Upenkamp (2007), Nübel (2008) a Mohammadi et al. (2012). Tyto výsledky jsou vysvětleny vyšším rostlinným pokryvem, kdy dochází k překrývání listové plochy kukuřice a k většímu podílu stoku po stéble Špička et al. (1964) a Bui a Box (1992).

Další významný vliv na hodnoty kapkové eroze měla růstová fáze porostu kukuřice, kdy v prvních týdnech po zasetí nebyl znát pozitivní vztah u řádků o šířce 0,45 m. V této době nebyl prokazatelný statistický rozdíl mezi řádky o šířce 0,75 m a 0,45 m. Ke změně došlo po několika týdnech, jak ve svém pokusu prokázal Mannering a Johnson (1969).

Na začátku vegetace nevykazují porosty s užšími řádky 0,45 m prokazatelný efekt na snížení kapkové eroze ve srovnání s porosty s řádky 0,75 m. Během prvních 5 týdnů pokusu nedocházelo k eliminaci kapkové erozi, ovšem po 8. týdnu se u nejužších řádků statisticky prokázalo snížení kapkové eroze. K tomuto závěru ve svém pokusu dospěli i Liu et al. (2016), kteří uvádějí, že naměřená kapková eroze se liší ve fázích růstu kukuřice.

Dickey (1984), Scott et al. (1987), Yang and Madden (1993), Hůla a kol. (1995), Schachtschabel (1998), Hussain et al. (1999), Edwards et al. (2000), Mann et al. (2002), Janeček a kol. (2002), Gyssels et al. (2005), Brant a kol. (2011), Le Guillou et al. (2012) se shodují a doporučují, aby se v počátečních fázích růstů zabránilo propadu srážek, je nutné při zakládání porostů kukuřice do užších řádků (0,45 m a méně) do fáze prodlužovacího růstu zajistit dostatečné pokrytí půdy živým nebo mrtvým mulčem, tj. alespoň 30 % pokrytí povrchu půdy, jelikož porosty kukuřice dokáží chránit povrch před dopadem dešťových kapek. Širokořádkové plodiny, do kterých patří kukuřice setá poskytují nejmenší ochranu půdy proti erozi (VÚMOP, 1995) a období po výsevu kukuřice do doby částečného zapojení porostu lze z hlediska eroze považovat za nejrizikovější (Brant a kol., 2011). Shoduje se s výsledky z pokusu, kdy nejrizikovější období probíhá během prvních 5 týdnů pokusu, kdy nedochází k eliminaci kapkové eroze.

Z výše uvedeného vyplývá, že snížení řádků z 0,75 m na 0,45 m vede ke snížení hodnot kapkové eroze, s čímž korespondují dosažené závěry Manneringa a Johnsona (1969), Sangoiho a Salvadora (1998), Paltineanua a Starra (2000), Uppenkampa (2007), Nübela (2008), Mohammadiho et al. (2012).

7 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Z výsledků provedeného pokusu můžeme závěry shrnout následovně:

- S narůstající hodnotou atmosférické srážky byly u porostů s řádky 0,75 m prokázány vyšší hodnoty porostní srážky ve srovnání s porosty s řádky 0,45 m.
- Snížení šířky řádků z 0,75 m na 0,45 m vedlo ke snížení hodnot kapkové eroze
- Užší řádky (0,45 m) neovlivňovaly prokazatelně srážkovou erozi na počátku vegetačního období v porovnání se širšími řádky (0,75 m).
- Pěstování kukuřice v užších řádcích, brání propadu srážkové vody na půdu, čímž eliminuje její degradaci způsobenou rozpadem půdních částic, proto lze tuto technologii považovat za agrotechnické protierozní opatření

Doporučení pro pěstování v praxi:

- Na začátku vegetačního období je třeba zajistit dostatečný pokryv živým či mrtvým mulčem, jak u kukuřice s šířkou řádků 0,45 m, tak i pro 0,75 m, aby nedocházelo k dopadu kapek vody přímo na povrch půdy
- Doposud je technologie pěstování kukuřice seté v užších řádcích považována za novou technologii a v praxi není dostatečně aplikována. Z tohoto důvodu je obtížná dostupnost zemědělských strojů, které se při této technologii používají

8 POUŽITÁ LITERATURA

Aksoy H, Erdem Unal N, Cokgor S, et al. 2012. A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff-sediment transport processes over a two-dimensional flume. *Catena*, 98. p. 63–72.

Al Durrah, M.M., Bradford, J.M. 1982. The mechanism of raindrop splash on soil surfaces. *Soil Science Society of America Journal*, 46. p. 1086–1090.

Andrade F.H., Calviño P., Cirilo A., Barbieri P. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agronomy Journal*, 94. p. 975–980.

Avci, M., 2011. Conservation tillage in Turkish dryland research. *Agronomy for sustainable development*. volume 31. p. 299-307.

Badalíková, B., Hrubý, J., 2009. Využití netradičních meziplodin při protierozní ochraně půdy. *Zemědělský výzkum, spol. s. r. o. Troubsko*. 10 s. ISBN: 978–80–86908–11–3.

Barbieri P.A., Echeverría H.E., Sainz Rozas H.R., Andrade F.H., 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agronomy Journal*, 100. 1094–1100.

Bazzoffi, P., Gardin, L. 2011. Effectiveness of the GAEC standard of cross compliance retain terraces on soil erosion kontrol. *Italian journal of agronomy*, vol. 6 (s1). e 6, p. 43-51.

Bennet, H. H. 1939. *Soil conservation*, New York – London – převzato z Janeček, M. a kol.2002. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. ISV nakladatelství. 201 s. ISBN: 85866–85–8.

Bernsdorf, B., Richter, G., Schmidt, R. G. 1995. *Die Kartierung der Schneeschmelz – Erosion – Probleme und Möglichkeiten der Felderhebung*. Univ. Trier, H. 14. – převzato z Janeček, M. a kol.2002. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. ISV nakladatelství. s. 201 ISBN: 85866–85–8.

Bhattacharyya, R., Davies, K., Fullen, M.A., Booth, C.A., 2008. Effects of Palm-mat Geotextiles on the Conservation of Loamy Sand Soils in East Shropshire, UK, ISBN 978-3-923381-56-2, US ISBN 1-59326-249-3. 2008 by CATENA VERLAG, 35447, Topic 6 Soil Conservation and Soil Quality, Téma 6 ochrany půdy a kvalita půdy.

Blanco – Canqui, H., Lal, R. 2008. Principles of Soil Conservation and Management. Springer Science + Business Media B. V. p. 617. ISBN: 978–1–4020–8708-0.

Bollinne, A. 1975. La mesure de l'intensité du splash sur sol limoneux. Mise au point d'une technique de terrain et premiers résultats. Pédologie 25, p. 199–210.

Brandsæter, L. O., Netland, J. 1999. Winter annual legumes for use as cover crops in row crops in northern regions. I. Field experiments. Crop Science, 39, 1369–1379.

Brandt, C. J. 1989: The size distributions of throughfall drops under vegetation canopies. Catena 16, p. 507-524.

Brant, V., Balík, J., Fuksa, P., Hakl, J., Holec, J., Kasal, P., Neckář, K., Pivec, J., Prokinová, E. 2008. Meziplodiny. Česká zemědělská univerzita v Praze. Kurent s.r.o. České Budějovice. s. 42. ISBN 978–80–87111–10–9.

Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Holec, J., Cihlář, P., Fuksa, P., Procházka, L. 2011. Uplatnění pásového zpracování půdy v porostech silážní kukuřice. Agromanuál. 3. 76-79.

Brant, V., Procházka, L., Kroulík, M., Pivec, J., Cihlář, P., Fuksa, P. 2011. Eliminace kapkové eroze v porostech kukuřice. Mechanizace zemědělství. 5. 24-26.

Brant, V., Zábranský, P., Pivec, J., Kemerlová, M., Kroulík, J. 2012. Distribuce srážek v porostech kukuřice seté. Česká zemědělská univerzita v Praze.

Brant, V., Zábranský, P., Pivec, J., Gernerlová, M., Kroulík, M. 2013. Distribuce srážek v porostech kukuřice seté. Agromanuál. 5. 87-89.

Brant, V., Zábranský, P., Pivec, J., Gernerlová, M., Kroulík, M. 2013. Pásové zpracování půdy ke kukuřici seté. *Agromanuál*. 3. 104-108.

Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Pivec, J., Kroulík, M., Procházka, L. 2015. Praktické možnosti využití užších řádků u kukuřice v rámci ochrany půdy proti erozi. *Agromanuál*, 2. 96-99.

Brodowski, R. 2013. Soil detachment caused by dividend rain power from raindrop parts splashed downward on sloping surface. *Catena*, vol. 105, p. 52-61.

Brown, L.R. 1998. Stav světa. Zpráva o cestě k trvale udržitelné společnosti. 1. vyd. Praha. Nakladatelství Hynek. s. 356 ISBN 80-86202-29-1.

Brtnický, M., Vopravil, J., Vrabcová, T., Hladký, J., Khel, T., Novák, P., Vlček, V., Kynický, J., 2012. Degradace půdy v České Republice. Brno. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. s. 91 ISBN 978-80-87361-20-7.

Brückler, L., Lafolie, F., Doussan, C., Bussièeres, F. 2004. Modeling soil-root water transport with non-uniform water supply and heterogeneous root distribution. *Plant and Soil*, 260. p. 205–224.

Budňáková, M. 2009. Situační a výhledová zpráva – Půda. Ministerstvo zemědělství. Praha. s. 64 ISBN 80–7084–800-5.

Bui, E.N., Box, J.E. Jr. 1992. Stemflow, rain throughfall, and erosion under canopies of corn and sorghum. *Soil Science Society of America Journal*, 56: p. 242–247.

Bullock, D. G., Nielsen, R. L., Nyquist, W. E. 1988. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. *Crop Science*, Madison, v. 28, n. 2, p. 254-258.

Cáblík, J., Jůva, K. (1963): Protierozní ochrana půdy. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 324 s.

Dickey, E. C. 1984. Tillage residue and erosion on moderately sloping soils. Transactions of the ASAE. 27. Č.4.s. 1093-1099.

Dierauer, H.U. 1994. Unkrautregulierung ohne Chemie. Eugen Ulmer GmbH&Co. Stuttgart.

Dufková Kozlovsky, J. 2010. Influence of low temperatures on aggregate disruption of heavy clay soils. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., LVIII, No. 2, p. 161–168.

Dufková, J., Toman, F. 2003. The Influence of Climate Conditions on the Soil Erosion. In: Mezinárodní odborný seminář posluchačů postgraduálního doktorandského studia MendelNET'03. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta, s. 19 ISBN 80-7157-723-5.

Edwards, L. M., Volk, A., Burney, J. R. 2000. Mulching potatoes: Aspects of mulch management systems and soil erosion. American Journal of Potato Research, vol. 77, p. 225 – 232.

Ellison, W. D. 1944: Two devices for measuring soil erosion. Agricultural Engineering 25, p. 53-5 ISBN 1-4051–1781–1.

Finney, H.J. 198.) The effect of crop covers on rainfall characteristics and splash detachment. J Agric Eng Res 29(4): p. 337–343.

Fulton, J. M. 1970. Relationship among soil moisture stress, plant population, row spacing and yield of corn. Canadian Journal of Plant Science, Ottawa, v. 50, n. 1, p. 31-38.

Gemerlová, M., Brant, V., Zábranský, P., Pivec, J., Kroulík, M. 2013. Eliminují užší řádky rizika vzniku vodní eroze v porostech kukuřice seté? Agromanuál 2/2013, s. 72–74.

Geißler, C., Kühn, P., Böhnke, M., Bruelheide, H., Shi, X., Scholten, T. 2012. Splash erosion potential under tree canopies in subtropical SE China. Catena 91: p. 85–93.

Ghadir, H., Payne D. 1977. Raindrop impact stress and the breakdown of soil crumbs. Journal of Soil Science, 28. p. 247–258.

Glaser B., 2005/2006, Böden und Landnutzung in den humiden TropenWS 2005/2006, Abteilung Bodenphysik, Universität Bayreuth) 2005/2006.

Gunsolus, J. L. 1990. Mechanical and cultural weed control in corn and soybeans. *American Journal of Alternative Agriculture, Greenbelt*, v. 5, n. 1, p. 114-119.

Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., Li, Y. 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Prog Phys Geogr* 29(2):189–217.

Havlin, J.L., Schlegel, A.J. 1997. Dryland conservation technologies. Enhancing agricultural profitability and sustainability. *Annals of Arid Zone*. 36. p. 291-303.

Grosa, A. 2006. Bodenbearbeitungstechnik. In *Jahrbuch Agrartechnik – VDMA Landtechnik, VDI-MEG, KTBL*. Herausgeber/Editors: Harms, H. – Meier, F. Monster: LV Druck in Landwirtschaftsverlag. Band s. 18 97–102. ISBN 3-7843-3384-2.

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

Hughes, B.J., Sweet, R.D., 1979. Living mulch: a preliminary report on glassy cover crops interplanted with vegetables. *Proceedings of the Northeast Weed Science Society*, Vol. 33, 109. In: Liedgens, M., 2001: Pflanzenproduktion in lebenden Mulchen – eine Übersicht. *Pflanzenbauwissenschaften*, 5, 15-23.

Hůla, J., Zelená, L., Škoda, V., Pastorek., Z. 1995. Technika v postupech ochranného zpracování půdy k širokořádkovým plodinám. Ústav zemědělských a potravinářských informací. ISSN 0231–9470.

Hůla, J. 2000. Půdoochranné technologie zakládání porostů plodin. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. s. 46 ISBN 80-7271-060-5.

Hůla, J., procházková, B., Badalíková, B., Dovrtěl, J., Dryšlová, Hartman, I., Hrubý, J., Hrudová, E., Javůrek, M., Kasal, M., Klem, K., Kovaříček, P., Kroulík, M., Kumhála, F.,

Mašek, J., Neudert, L., Růžek, P., Smutný, V., Nová, M., Winkler, J. 2008. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press, s.r.o. Praha. ISBN 978-80-86726-28-1.

Hussain I., Olson, K. R., Ebelhar, S. A. 1999. Biological Abstracts Soil & Tillage Research. 52(1-2). p.37-49.

Chepil, W. S., Siddoway, F. H. – Armbrust, D. V., 1962. Climatic Factor for Estimating Wind Erodibility of Farm Fields. Journal of Soil and Water Conservation, no. 1, p. 162-165.

Choudhary, M. A., Lal, R., Dick, W. A. 1997. Long-term tillage effects on runoff and soil erosion under simulated rainfall for central Ohio soil. Soil & Tillage Research. 42. p. 175-184.

Janeček, M. a Váška, J. 2001. Doporučený standard technický Protierozní ochrana. Informační centrum české komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Praha. s. 24 ISBN 80-86364-40-2.

Janeček, M., Bohuslávka, J., Dumbrovský, M., Gergel, J., Hrádek, F., Kovář, P., Kubátová, E., Pasák, V., Pivcová, J., Tippl, M., Toman, F., Tomanová, O., Váška, J. 2002. Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství. s. 201 ISBN: 85866-85-8.

Janeček, M. a kolektiv 2005. Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství, Praha. ISBN 80-86642-38-0.

Janeček, M., Bečvář, M., Bohuslávka, J., Dufková, J., Dumbrovský, M., Dostál, T., Hůla, J., Jakubíková, A., Kadlec, V., Krása, J., Kubátová, E., Novotný, I., Podhrázká, J., Tippl, M., Toman, F., Vopravil, J., Vrána, K. 2007. Ochrana zemědělské půdy před erozí – metodika. VÚMOP Praha. v. v. i. s. 76 ISBN: 978-80-254-0973-2.

Johnson, G. A., Hoverstad, T. R., Greenwald, R. E. 1998. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides and cultivation. Agronomy Journal, Madison, v. 90, n. 1, p. 40-46.

Kinnell, P.I.A. 1991. The effect of flow depth on sediment transport induced by raindrops impacting shallow flows. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, vol. 34 (1), p. 161-168.

Kinnell, P.I.A. 2005. Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: a review. Hydrological Processes 19, p. 2815-2844.

Kvítek, T., Tipl, 2003. Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině. ÚZPI. Praha. s. 47. ISBN 80-7271-140-7.

Levien R., Cogo, N. P., Rockenbach, C. A. 1990. Soil erosion and maize cropping under different prior cropping systems and methods of soil tillage. CAB Abstracts Revista Brasileira de Ciencia do solo. 14: 1, 73-80. 27 ref.

Leguédois S., Planchon O., Legout C., Le Bissonnais Y. 2005. Splash projection distance for aggregated soils: Theory and experiment. Soil Science Society of America Journal, 69. 30-37.

Le Guillou, C., Angers, D.A., Leterme, P., Menasseri-Aubry, S. 2012. Changes during winter in water-stable aggregation due to crop residue quality. Soil Use and Management. 28. 590-595.

Liedgens, M. 2001. Pflanzenproduktion in lebenden Mulchen – eine Übersicht. Pflanzenbauwissenschaften, 5, 15-23.

Liu, T., Luo¹, J., Zheng¹, Z., Li¹, T., He, S. 2016. Effects of rainfall intensity on splash erosion and its spatial distribution under maize canopy. Springer Science, Business Media Dordrecht. Nat Hazards 84: p. 233-247.

Ma, B., Yu, X., Ma, F., Li, Z., Wu, F. 2014. Effects of crop canopies on rain splash detachment. PLoS One 9(7): e99717.

Mann, L., Tolbert, V., Cushman, J. 2002. Biological Abstracts Agriculture Ecosystems & Environment. 89(3). p. 149-166.

Mannering, J. V., Johnson, C. B. 1969. Effect of crop row spacing on erosion and infiltration. *Agronomy Journal*, Madison, v. 61, n. 6, p. 902-905.

Mohammadi, G.R., Ghobadi, M.E., Sheikheh-Poor, S. 2012. Phosphate biofertilizer, row spacing and plant density effects on corn (*Zea mays* L.) yield and weed growth. *Journal of Plant Sciences*, 3. p. 425–429.

Morgan, R. P. C. 1981. Field measurement of splash erosion. Erosion sediment transport measurement (Proceedings of the Florence Symposium). IAHS, p. 273–382.

Morgan, R. P. C. 1985. Soil erosion measurement and soil conservation research in cultivated area of the UK. *The Geographical Journal*, vol. 151 (1), p. 11-20.

Morgan, R. P. C. 2005. *Soil erosion & conservation*. Blackwell Publishing. p. 304. ISBN: 1-4051-1781-1.

Murphy, S. D., Yakubu, Y., Weise, S. F., Swanton, C. J. 1996. Effects of planting pattern on intrarow cultivation and competition between corn and late emerging weeds. *Weed Science*, Champaign, v. 44, n. 5, p. 865-870.

Neave, M., Abrahams, A.D. 2002. Vegetation influences on water yields from grassland and shrubland ecosystems in the Chihuahuan Desert. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: p. 1011–1020.

Novák, J., Skalický, M., 2008. *Botanika*. Powerprint. Praha. 327 s. ISBN 978-80-904011-1-2.

Novotný, I., Mistr, M., Papaj, V., Kristenová, H., Váňová, V., Kapička, J., Vlček, V., Vopravil, J., Kulířová, P., Kadlec, V., Kobzová, D., Srbek, J., Pochop, M., Podhrázká, J., Fiala, R., Žížala, D., Dostál, T., Krása, J., Vaňková, K., Haluzová, J., Jirků, V., Smolková, I. 2014. *Příručka ochrany proti vodní erozi*. Ministerstvo zemědělství. Praha. ISBN 978–80–87361–33–7.

Nübel, V. 2008. 75 cm Reihenabstand im Maisanbau Zeitgemäß? Saarbrücken, VDM Verlag Dr. Müller.

Olson, R. A., Sander, D. J. 1988. Corn production. In: SPRAGUE, G. F.; DUDLEY, J. W. (Ed.). Corn and corn improvement. Madison : American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/Soil Science Society of America,. p. 639-686.

Ottman M.J., Welch L.F. 1989. Planting pattern and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. *Agronomy Journal*, 81.167–174.

Paltineanu, I.C., Starr, J.L. 2000. Preferential water flow through corn canopy and soil water dynamics across rows. *Soil Science Society of America Journal*, 64. 44–54.

Pasák, V., 1966. Struktura půdy a větrná eroze. *Vědecké práce VÚMOP Praha*, s.73–82.

Pasák, V. 1967. Faktory ovlivňující větrnou erozi půdy. *Vědecké práce VÚMOP. Praha. č.9. s.143-149.*

Pasák, V., Janeček, M., Šabata, M. 1983. Ochrana zemědělské půdy před erozí – metodika. ÚVTIZ Praha. – převzato z Badalíková, B., Hrubý, J., 2009. Využití netradičních meziplodin při protierozní ochraně půdy. *Zemědělský výzkum, spol. s. r. o. Troubsko. 10 s. ISBN: 978–80–86908–11–3.*

Pimentel, D. 2006. Soil erosion: A food and environmental threat. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 8. 119–137.

Pivec J., Brant V., Moravec D. (2006): Analysis of the potential evapotranspiration demands in the Czech Republic between 1961–1990. *Biologia*, 61: 294–299.

Poesen J., Torri D. (1988): The effect of cup size on splash detachment and transport measurements: Part I. Field measurements. *Catena*, 12: 113–126.

Podhrázská, J., Dufková, J. 2005. Protierozní ochrana půdy. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno. ISBN 80-7157-856-8.

Porter, P. M., Hicks, D. R., Lueschen, W. E., Ford, J. H., Warnes, D. D., Hoverstad, T. R. 1997. Corn response to row width and plant population in the Northern Corn Belt. *Journal of Production Agriculture*, Madison, v. 10.

Procházková, B. Dovrtěl, J., Dryšlová, T., Křen, J., Lukas, V., Neudert, L., Smutný, V., Winkler, J. 2011. Minimalizační technologie zpracování půdy a možnosti jejich využití při ochraně půdy a krajiny. Mendelova univerzita v Brně. Brno. ISBN 978-80-7375-524-9.

Randall, G., Hill, P. 2000. Fall strip-tillage systems, chapter 23, p. 192-199 in: Randal, R. C. (ed). 2000. Conservation tillage systems and management. Midwes Plan Service, Ames, p. 270.

Riksen, M.J.P.M. 2006. Wind born landscapes: the role of wind erosion in agricultural land management and nature development. Wageningen Universiteit. Wageningen.p. 231. ISBN 90-8504-386-7.

Roth, Ch. 1997. Bulk density of surface crusts: Depth functions and relationships to texture. *Catena*, vol. 29 (3-4), p. 223-237.

Rožnovský, J., Litschmann, T. Středová, H., Středa, T. 2013 Voda, půda a rostliny Křtiny, New methods of assessing water erosion in VÚMOP, v.v.i. ISBN 978-80-87577-17-2.

Sangoi, L., Salvador, R.J. 1998. Influence of plant height and leaf number on maize production at high plant densities. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33. 297-306.

Scott, T. W., Pleasant, J. M. T., Burt, R.F., Otis, D.J., 1987. Contributions of ground cover, dry matter, and nitrogen from intercrops and cover crops in a polyculture system. *Agronomy Journal*, 79, p. 79-798.

Sreenivas, L., Johnston, J. R., Hill, H. O., 1947: Some relationships of vegetation and soil detachment in the erosion process. Soil Science Society of America Proceedings 11, p. 471-474.

Sreenivas, L., Johnston, J.R., Hill, HO. 1948. Some relationships of vegetation and soil detachment in the erosion process. Soil Sci Soc Am J 12. 471–474.

Sklenička, P. 2003: Základy krajinného plánování. Nakladatelství Naděžda Skleničková, Praha. 2.vyd. ISBN 80–903206–1–9.

Sklenička, P.2003: Základy krajinného plánování, Nakladatelství Naděžda Skleničková, Praha. 2.vyd. ISBN 80-903206–1–9, 321 s.

Stehlík, O. 1981: Vývoj eroze půdy v ČSR. Geografický ústav ČSAV Brno, Brno.

Stroosnijder, L. 2005. Measurement of erosion: Is it possible? Catena, vol. 64, p. 162-173.

Swoboda, R. 1996. Interest grows in narrow corn. Wallaces Farmer, Spencer, v. 121, n. 1, p. 6-7.

Šarapatka, B., Dlapa, P., Bedrna, Z. 2002. Kvalita a degradace půdy. Univerzita Palackého ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí ČR. Olomouc. 1.vyd. 247 s. ISBN 80-244-0584-9.

Šarapatka, B., Niggli, U. 2008. Zemědělství a krajina. Cesty k vzájemnému souladu. Olomouc. 1.vyd. Vydavatelství Univerzity Palackého. ISBN: 978-80-244-1885-8.

Šimon, J. – Škoda, V. – Hůla, J. Zakládání porostů hlavních polních plodin novými technologiemi. Praha: Agrospoj, 1999. 78 s.

Špička, A. et al. 1964. Rostlinná výroba. Vlastnosti půdy a její zpracování. Praha: SZN, 1964. s. 135-136.

Teasdale, J. R. 1995. Influence of narrow row/high population corn on weed control and light transmittance. *Weed Technology*, Lawrence, v. 9, n. 1, p. 113-118.

Titi, El A. 2003. *Soil Tillage in Agroecosystems. 2.Series. United States of America: CRC Press LLC. 367 p. ISBN 0-8493-1228-0.*

Trevini, M., Benincasa, P., Guiducci, M., 2013. Strip tillage effect on seedbed tilth and maize production in Northern Italy as case-study for the Southern Europe environment. *European journal of agronomy* Volume: 48. p. 50-56.

Uppenkamp, N. 2007. Praxiserfahrungen mit der Maisensaat. *Mais*, 34. 26–28.

Vach, M., Javůrek, M., 2011. Efektivní technologie obdělávání půdy a zakládání porostů polních plodin. *Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. ISBN 978-80-7427-079-6.*

van Dijk, A.I.J.M., Meesters, A.G.C.A., Bruijnzeel, L.A. 2002. Exponential distribution theory and the interpretation of splash detachment and transport experiments. *Soil Science Society of America Journal*, 66. 1466–1474.

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. **MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. PROGRAM ROZVOJE VENKOVA. SOWAC s.r.o. Praha.**

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VÚMOP). 1995. Protierozní ochrana. *Nové technologie v ochraně půdy před vodní erozí: Voda v krajině. Ministerstvo zemědělství. Praha. s. 52.*

Westgate, M. E., Forcella, F.; Reicosky, D. D., Somsen, J. 1997. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: radiation-use efficiency and grain yield. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 49, n. 2, p. 249-258.

Yang, X., Madden, L. V. 1993. Effect of ground cover, rain intensity and strawberry plants on splash of simulated raindrops. *Agricultural and Forest Meteorology*. 66. 1-20.

Zábranský, P., Gernerlová, M., Brant, V., Pivec, J., Kroulík, M. 2012. Vliv šířky řádků na produkci nadzemní biomasy kukuřice seté. Aktuální témata v pícninářství a trávnickářství. Praha. ISBN 978-80-213-2344-5.

Zachar, D. 1970. Erózia pôdy. Bratislava. Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied.s. 527.

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.

8.1 Internetové zdroje

Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Fuksa, P., Holec, J. 2009. Vliv půdoochranného zpracování půdy na produkci biomasy silážní kukuřice. [online]. [cit. 2015–12-28]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vliv-pudoochranneho-zpracovani-pudy-na-produkci-biomasy-silazni-kukurice>>

Coulter, J. 2009. Optimum plant population for corn in Minnesota Available at (verified 1 June 2009). Univ. of Minnesota, St. Paul. [online]. [cit. 2017–02-18]. Dostupné z <http://www.extension.umn.edu/agriculture/corn/planting/optimum-plant-population-for-corn-in-minnesota/>>

Dartmoor National Park. 2003. Erosion on public rights of way and on public open space within Dartmoor National Park.[online].[cit. 2016–09-30]. Dostupné z <http://www.dartmoor.gov.uk/learningabout/lab-printableresources/lab-factsheetshome/lab-erosion>>

Ekotechnika,. 2017. Stabilita půdních agregátů. [online]. [cit. 2017–02-02].Dostupné z <http://www.ekotechnika.cz/pristroj-pro-mokre-prosivani-stabilita-pud-agregatu-kompletni-sada>

Kučerová, P. 2007. Vliv vodní eroze na změnu půdní reakce. Bakalářská práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Agronomická fakulta. Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin. Brno. Převzato IIRR (International Institute of Rural Reconstruction). Sustainable agriculture extension manual for Eastern and Southern Africa [online]. Part 5: Soil and water conservation: Common types of erosion. Nairobi, Kenya: International Institute of Rural Reconstruction, 1998. [online]. [cit.2008 –13-3]. Dostupné z < <http://iirr.org.htm>>

Ministerstvo zemědělství ČR. Příručka ochrany proti vodní erozi 2014. ISBN 987–80–7084–996–5 [online]. [cit.2015–12-26]. Dostupné z <http://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/ochrana-pudy/eroze-pudy/prirucka-ochrany-proti-vodni-erozi.htm>

Ministerstvo zemědělství ČR. Standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (GAEC). [online]. [cit.2015–12-27]. Dostupné z <<http://eagri.cz/public/web/mze/dotace/kontroly-podminenosti-cross-compliance/dobry-zemedelsky-a-environmentalni-stav>>

Kremper, W.D., Rosenau, R.C.1986. Aggregate stability an size distribution. p. 425–442 [online]. [cit.2015–12-26].

Dostupné z <<http://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/732/3/585.pdf>>

Sangoi L., Ender, M., Guidolin, A.F., Luiz de Almeida, M., Heberle P.C. 2001. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. [online]. [cit. 2017–02-18]. Dostupné z <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2001000600003>

Schachtschabel, P., Blume, H.P., Brummer, G., Hartge, K.H., Schwetman, U. 1998. Lehrbuch der Bodenkunde, Bodenerosion. s. 366, 14., neu bearbeitete und erweiterte Auflage von. P. Schachtschabel, H. P. Blume, G. Blummer, K.H. Hartge, U. Schwetman, unter Mitarbeit von K. Auerswald, L. Beyer, W.R. Fischer, I. Kogel – Knabner, M. Renger, O. Strebel, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 1998. [online]. [cit. 2015–12-26]. Dostupné z <<http://gruenland.wzw.tum.de/>>

SWEB. 2001. Důsledky vodní eroze. [online]. [cit. 2017–02-17]. Dostupné z

<<http://www.sweb.cz/eroze/priciny.htm>>

Šurda, P., Antal, J. 2006. Stanovenie erozivity dažďa na základe dažďových charakteristík determination of the rainfall erosivity through the use of rainfall characteristics. [online]. [cit. 2016–09-30]. Dostupné z <http://cbks.cz/sbornikStrecno06/prispevky/Sekcia_7/S7-5.pdf>

Velinský, F., Mikuláš, R. 2005. Co dokáže eroze. 1.díl. Český rozhlas. [online].

[cit. 2017-02-16]. Dostupné z

http://www.rozhlas.cz/planetarium/paleontologie/_zprava/282085#diskuse

9 SEZNAM TABULEK A GRAFŮ

9.1 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Průměrná zrnitost půdy testovaných míst, naměřená na jaře roku 2012 v Budihosticích.	35
Tabulka 2 - Termíny výsevu, počet rostlin na ha a průměrná vzdálenost mezi rostlinami, tři týdny po výsevu. V letech 2012, 2013 a 2014.	36
Tabulka 3 - Vybrané události poměru součtu a průměru P/Pth (srážky / propad) v kukuřici s 0.45 m a 0.75 m rozteče řádků v letech 2012-2014.	43
Tabulka 4 - Hodnoty kapkové eroze (MSR, g / m ²) v kukuřici s různou šířkou řádků v letech 2012-2014. Rozdílné indexy a/b mezi průměry v rámci sloupců dokumentují statisticky významné rozdíly ($\alpha = 0,05$).	47
Tabulka 5 - Vliv propadu srážkové vody (Pth, mm) na kapkovou erozi (MSR, g/m ² , měřeno uprostřed řádků) ve 3 vzdálenostech v řádcích kukuřice seté (šířka řádků 0,45 m a 0,75 m) v letech 2012, 2013, 2014.	48

9.2 Seznam grafů

Graf 1 - Vliv šířky řádků u kukuřice na hodnoty porostní srážky (Pth, %) v rámci meziřádku v letech 2012-2014; vyjádřené jako podíl z atmosférické srážky (P, mm), která představuje 100 %	44
Graf 2 - Vliv šířky řádků na hodnoty kapkové eroze (MSR, g m ⁻²) v závislosti na atmosférických srážkách (P, mm) v roce 2012, 2013 a 2014. Tyto modely byly prováděny v období 11.6.-18.7. 2012; 24.6.-13.8.2013 a v období 15.6.-6.8. 2014.	46