

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a biometeorologie



**Eliminace kapkové eroze pásovým zpracováním půdy
v porostech kukuřice seté**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Lenka Sakrýtová

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

© 2014 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Eliminace kapkové eroze pásovým zpracováním půdy v porostech kukuřice seté" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 2. 4. 2014

Poděkování

Děkuji Ing. Václavu Brantovi, Ph.D za pomoc při metodickém vedení a za cenné rady a připomínky ke zpracování této diplomové práce.

Eliminace kapkové eroze pásovým zpracováním půdy v porostech kukuřice seté

SOUHRN

Základem práce je posouzení a vyhodnocení vlivu pásového zpracování půdy na eliminaci kapkové eroze v porostech kukuřice seté. Pásové zpracování půdy (strip tillage) je poměrně nový protierozní systém vhodný zvláště pro plodiny, které trpí zvýšenou náchylností k erozi. Jsou to především širokořádkové plodiny, brambory, cukrovka nebo kukuřice. Porosty kukuřice z hlediska rizika eroze patří k nejohroženějším. Působení energie dopadajících dešťových kapek je počáteční příčinou degradace půdní struktury. Dochází k poškozování půdních agregátů a snižuje se také produkční schopnost půdy. Nejvíce náchylná erozi je půda, která zůstává bez pokryvu nebo jen s minimem posklizňových zbytků v meziorostním období. V literární rešerši je pojednáno o erozi, která zahrnuje rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody, větru, ledu a jiných erozních činitelů. Vodní eroze, spočívající v rozrušování zemského povrchu dešťovými kapkami a následným povrchovým odtokem a její eliminace různými způsoby technologickými, agrotechnickými i technickými je prioritou rešerše. Práce je zaměřena na ověření vlivu pásového zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze v porostech kukuřice seté analýzou tří rozdílných technologií na pokusných variantách experimentu. K provedení polních experimentů a analýze vlivu pásového zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze v porostech kukuřice seté byla zvolena pro rok 2012 lokalita Račiněves a pro rok 2013 lokalita Budihostice. Ke stanovení hodnot kapkové eroze byla použita metoda podle Bollinne (1975). Pomocí záchytných trychtýřů byl hodnocen vliv pásového zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze (MSR). K určení stability půdních agregátů (SAS) byl použit přístroj Wet Sieving Apparatus. Pokryvnost půdy byla stanovena pomocí analýzy obrazu ze snímků ploch půdy pořízených fotoaparátem s infračerveným filtrem. Posuzován byl vztah mezi intenzitou, sumou srážky a kapkovou erozí (MSR), závislost pokryvnosti na stabilitu půdních agregátů (SAS) a vliv technologie zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze. V práci bylo potvrzeno, že technologie pásového zpracování půdy přispívá k eliminaci kapkové eroze a také, že nárůst hodnoty pokryvnosti půdy vegetací a posklizňovými zbytky vede k poklesu hodnot kapkové eroze a ke zvýšení stability půdních agregátů. Hodnoty kapkové eroze ovlivňuje velmi významně intenzita srážky a méně pak suma srážky.

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

The splash erosion control in maize crops using the strip tillage technology

SUMMARY

The basis of the work is assessment and evaluation of strip tillage impact on elimination of drop erosion in the growths of maize (*Zea mays L.*). Strip tillage is a relatively new anti-erosion system suitable particularly for the crop suffering from increased susceptibility to erosion. These are above all broad-row crop, potatoes, sugar beet or maize. From the risk of erosion point of view the growths of maize belong to the most endangered. Effect of falling raindrops energy is an initial cause of soil structure degradation. Soil aggregates are harmed and thus production ability of soil is decreased. Soil without cover or only with a minimum of after harvest residues in the intergrowth period is the most susceptible to erosion. In the literary search there is a discussion on erosion, which involves destruction of soil surface, transport and sedimentation of released soil particles by effect of water, wind, ice and other erosion agents. Water erosion based on destruction the Earth's surface by raindrops and subsequent runoff and its elimination by different technological, agrotechnical and technical methods is a priority of the search. The work is aimed at verification of strip tillage impact on drop erosion values in the growths of maize by analysis of three different technologies on trial variants of experiment. For execution of field experiments and analysis of strip tillage impact on drop erosion values in the growths of maize, a locality of Račiněves was chosen for the year of 2012 and a locality of Budihostice for the year of 2013. The method by Bollinne (1975) was used for determination of drop erosion values. Impact of strip tillage on drop erosion values was assessed by means of trap funnels (MSR). For determination of soil aggregates stability (SAS) Wet Sieving Apparatus was used. Soil cover was determined by means of analysis of the picture from the soil areas photos taken by a camera with infrared filter. A relation between intensity, sum of precipitation and drop erosion (MSR), dependence of cover on soil aggregates stability (SAS) and influence of technology of strip tillage on drop erosion values was assessed. The work confirmed that the strip tillage technology contributes to elimination of drop erosion and the increase of soil cover value by vegetation and after harvest residues leads to the decrease of drop erosion values and to the increase of soil aggregates stability. The drop erosion values are influenced very significantly by precipitation intensity and less by precipitation sum.

Key words: strip tillage, drop erosion, soil aggregates stability, maize (*Zea mays L.*), soil cover

1	ÚVOD	1
2	CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY	3
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE	4
3.1	Eroze	4
3.1.1	Co je eroze	4
3.1.2	Rozdělení eroze	4
3.1.3	Vodní eroze	4
3.1.4	Příčiny eroze	5
3.1.5	Odolnost plodin proti erozi	5
3.1.6	Snížení degradačních vlivů eroze	6
3.2	Orná Půda	7
3.2.1	Půdní struktura	8
3.2.2	Fyzikální a chemické vlastnosti půdy ovlivněné erozí	8
3.2.3	Vlastnosti fyzikální	9
3.2.4	Vlastnosti chemické	9
3.2.5	Vlastnosti půdy z hlediska erodovatelnosti	9
3.2.6	Erodovatelnost půdy	10
3.3	Kapková eroze	10
3.3.1	Co je kapková eroze a jak vzniká	10
3.3.2	Vliv a působení kapkové eroze	12
3.3.3	Postup kapkové eroze půdy	13
3.3.4	Fáze kapkové eroze	14
3.3.5	Problém kapkové eroze z hlediska krajiny	15
3.4	Podmínky pro vývoj kapkové eroze	15
3.4.1	Účinnost dešťových kapek	15
3.4.2	Stanovení kinetické energie deště	16
3.4.3	Účinnost dešťových kapek (Regenerosität - R) - celosvětově	17
3.5	Obecná ztráta půdy	18
3.5.1	Podle USLE (Universal Soil Loss Equation)	18

3. 5. 2 Podle ABAG (Allgemeinen Bodenabtragsgleichung)	18
3. 5. 3 Erodatelnost půdy - (K)	19
3. 6 Opatření agrotechnická	25
3. 6. 1 Setí po vrstevnici	25
3. 6. 2 Přítomnost mulče	26
3. 6. 3 Mulčování	26
3. 6. 5 Pozitivní účinky mulčování	27
3. 6. 6 Negativní účinky mulčování	27
3. 6. 7 Národní a regionální metody CRM - použití ochrany půdy	27
3. 6. 8 Hlavní výhody metody CRM	28
3. 6. 9 Zpracování půdy	28
3. 6. 10 Možnosti eliminace eroze zpracováním půdy	29
3. 6. 11 Půdní pohyb stopových látek při zpracování půdy	30
3. 6. 12 Možnosti eliminace eroze na orné půdě – opatření krajinného rázu	31
3. 6. 13 Biotechnická a technická protierozní opatření	31
3. 6. 14 Eliminace tvorby povrchového odtoku	32
3. 7 Pásové zpracování půdy	32
3. 7. 1 Základní způsoby strip-tillage	33
3. 7. 2 Proč pásové zpracování půdy	33
3. 7. 3 Kdy pásové zpracování	34
3. 7. 4 Výhody pásového zpracování půdy	34
3. 7. 5 Význam mikrotopografie - (některých druhů červů) pro funkční období infiltrace	35
3. 7. 6 Potřebné vybavení	36
3. 7. 7 Pásové střídání plodin	36
3. 8 Problematika eroze v kukuřici	37
3. 8. 1 Distribuce srážek v porostech kukuřice seté	37
3. 8. 2 Odkap vody z listů	37
3. 8. 3 Odkap v porostu kukuřice	38
3. 8. 4 Půdoochranné technologie	38
3. 9 Modely ztráty půdy erozí	38

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	39
4.1 Metodika	39
4.1.1 Zájmové území	39
4.1.2 Pokusné plochy v roce 2012	41
4.1.3 Pokusné plochy v roce 2013	42
4.2 Postup polního experimentu	42
4.2.1 Varianty pokusu 2012	42
4.2.2 Založení pokusných ploch 2012	43
4.2.4 Založení pokusných ploch 2013	44
4.3 Průměrné měsíční sumy srážek a průměrných teplot - dlouhodobé	45
4.3.1 Průměrné měsíční sumy srážek a územní srážky 2012 a 2013	45
4.3.2 Průměrné sumy teplot a územní teploty 2012 a 2013 (°C)	47
4.4 Kapková eroze (splash)	49
4.4.1 Metody měření kapkové eroze	49
4.4.2 Postup a forma měření kapkové eroze	49
4.4.3 Stanovení kapkové eroze	51
4.5 Stabilita půdních agregátů (SAS - soil aggregate stability)	51
4.6 Postup zjištění pokryvnosti půdy vegetací a rostlinnými zbytky	52
4.7 Statistické vyhodnocení	52
4.8 Úhrn srážek, intenzita srážky	52
5 VÝSLEDKY	53
5.1 Kapková eroze (splash) 2012	53
5.2 Kapková eroze (splash) 2013	55
5.3 Stabilita půdních agregátů 2012	56
5.4 Stabilita půdních agregátů 2013	57

5. 5 Stabilita půdních agregátů – vyhodnocení	57
5. 6 Pokryvnost půdy vegetací a rostlinnými zbytky 2012	58
5. 7 Pokryvnost půdy vegetací a rostlinnými zbytky 2013	58
5. 8 Pokryvnost půdy vegetací a rostlinnými zbytky – vyhodnocení	59
5. 9 Úhrn srážek a intenzita srážky	60
5. 10 Statistické vyhodnocení	62
6 DISKUSE	66
7 ZÁVĚR	67
8 ZKRATKY	68
9 SEZNAM LITERATURY	69
10 ELEKRONICKÉ ZDROJE	71

1 Úvod

Eroze, zvláště vodní, je vážným celosvětovým problémem. Způsobuje těžkosti při ochraně životního prostředí, v ochraně půdy, způsobuje odplavování jemných humusových částic, které jsou nositeli půdní úrodnosti, způsobuje poškozování pěstovaných kultur, znečišťování vodních toků a záplavy intravilánů. Eroze má neblahý dopad na životní prostředí (eutrofizace vod, zvýšení rizika záplav), na organizaci rostlinné výroby i na vývoj krajiny a krajinného rázu.

Poškozování půdního profilu erozí snižuje výnosy. Hektarové výnosy na slabě erodovaných půdách se snižují o 15 – 20 %, na středně erodovaných půdách o 40 – 50 %, a na silně erodovaných půdách až o 75 %.

Ve dvacátém století a dříve bylo hlavní příčinou zájmu o erozi půdy hledisko dopadů na produkci potravin. To stále platí v mnoha částech světa, nyní však se častější obavy týkají problémů snížení uhlíku v půdě, pohybu dusíku a odstranění fosforu v rozpustných i nerozpustných formách. Eroze vede k rozkladu půdních agregátů a hrud do jejich primárních částic jílu, bahna a písku. Tímto postupem uhlík reaguje v rámci jílu a organických složek půdy a obsah se uvolní do atmosféry jako CO₂. Tedy eroze je také přispěvatelem klimatické změny, protože zvýšení obsahu oxidu uhličitého v atmosféře zvyšuje skleníkový efekt.

Degradace struktury půdy účinkem dešťových kapek je hlavní příčinou poškozování agregátů a snížení produkční schopnosti půdy. Nejvíce náchylná erozi je půda, která zůstává bez pokryvu nebo jen s minimem posklizňových zbytků v meziorostním období. Zvýšenou náchylností k erozi trpí především širokořádkové plodiny. Porosty kukuřice se z hlediska rizika eroze řadí k nejohroženějším.

Velký vliv na půdní erozi má způsob obhospodařování půdy. Pro omezení eroze je důležitá technologie zpracování půdy, pokryv půdy v meziorostním období, protierozní technická a biotechnická opatření. Pásové zpracování půdy (strip-tillage) je zpracování půdy, které spojuje výhody konvenčního a no-tillage zpracování. Půda je nakypřena pouze v pásech, přičemž plochy mezi těmito pásy jsou ponechány nezpracované a pokryté mulčem. Při hrůbkovém zpracování (ridge tillage) jsou vytvořeny hrůbky ve směru vrstevnic, které zpomalují povrchový odtok, čímž snižují jeho energii. Pásové střídání plodin snižuje erozi vložení různě širokých pásů s plodinami erozně méně ohroženými (travní porost, vojtěška, jetel, příp. obilovina) na pozemek s pěstovanou erozně ohroženou plodinou. Vrstevnicové zpracování je zpracování půdy i setí souběžné s vrstevnicí. Při setí do mulče (mulch tillage) se jedná o zpracování půdy, po kterém se na povrchu půdy nachází 30% posklizňových zbytků.

Zdrojem těchto rostlinných zbytků může být buď předplodina, jejíž sláma nebyla zapravena do půdy či meziplodiny zaseté po sklizni hlavní plodiny. Mulčování zpomaluje odtok vody a zvyšuje tloušťku vodní vrstvy. Vegetační kryt půdy výrazně ovlivňuje množství srážky, které dopadá na povrch půdy. Technické prvky jako příkopy, průlehy, terasy, protierozní hrázky, v případě doplněné prvky biotechnickými např. ochranným zatravněním je možné navrhnout pouze do limitní šířky pásu tak, aby neznemožňovaly zemědělskou činnost. Biotechnické prvky protierozní ochrany napomáhají rozptýlení povrchového odtoku. Svou lokalizací usměrňují směr obdělávání pozemků a způsob hospodaření zemědělských subjektů.

Problematiku eroze řeší EU vypsáním zásad správné zemědělské a environmentální praxe (GAEC 1 a GAEC 2 - Good Agricultural and Environmental Condition) a podmiňuje jejich dodržováním získání přímých dotací. Protierozní opatření a zásady správné zemědělské praxe jsou podrobně popsány v brožurách GAEC a CC (Cross Compliance - kontrola podmíněnosti).

2 Cíl práce a hypotézy

Cílem práce bylo na základě přesných polních experimentů ověřit vliv pásového zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze v porostech kukuřice seté.

V rámci hlavního cíle byly stanoveny tyto dílčí cíle:

- stanovit vliv rozdílných technologií zpracování půdy na množství rozstříknuté půdy v porostech kukuřice seté v průběhu vegetace
- ověřit závislost mezi hodnotami kapkové eroze a intenzitou a sumou srážek
- stanovit závislost mezi hodnotami kapkové eroze, pokryvností půdy rostlinnými zbytky a stabilitou půdních agregátů

Stanovené dílčí cíle vycházejí z těchto hypotéz:

- Rozdílné technologie zpracování půdy přispívají různě k eliminaci kapkové eroze
- S narůstající intenzitou a sumou srážky rostou hodnoty kapkové eroze
- Nárůst hodnoty pokryvnosti půdy mulčem vede k poklesu hodnot kapkové eroze a ke zvýšení stability půdních agregátů

3 Literární rešerše

3.1 Eroze

Eroze, zejména vodní, se v našich podmínkách stává v komplexu ochrany životního prostředí jedním z nejvýznamnějších problémů. Nejen, že jsou způsobovány miliardové škody zaplavováním intravilánů, ale i škody smyvem jemných humusových částic, které jsou nositeli půdní úrodnosti. Dalšími faktory mimo poškozování půdního profilu a pěstovaných kultur je i zvýšení vláhového deficitu, vysychavost, snížení hladiny spodních vod, znečišťování vodních toků pesticidy, hnojivy a zanášenými půdními částicemi. Vodní eroze způsobuje degradaci půdy, která předchází všem těmto škodám a snižuje produkční schopnost půdy (Badalíková a Hrubý, 2009).

3.1.1 Co je eroze

Eroze půdy je definována jako proces oddělení a přepravy půdního materiálu erozivními činiteli (Bhattacharyya et al., 2008).

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

3.1.2 Rozdělení eroze

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

3.1.3 Vodní eroze

Vodní eroze spočívá v rozrušování zemského povrchu dešťovými kapkami a povrchovým odtokem a podle formy se dělí na erozi plošnou, rýhovou, výmolovou a proudovou. Při plošné erozi je půda erodována téměř rovnoměrně po celé ploše pozemku

nebo určité části svahu. Působením plošné eroze se profil půdy postupně snižuje, v některých případech až na skalní podloží (Janeček a kol., 2002).

3. 1. 4 Příčiny eroze

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

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 zvrstvení, obsah humusu

Vegetační

- hustota a délka trvání vegetačního pokryvu

Způsob využívání a obhospodařování půdy

- poloha a tvar pozemků
- směr a technologie obdělávání
- střídání plodin

3. 1. 5 Odolnost plodin proti erozi

Jednotlivé druhy plodin je možno z hlediska protierozního účinku seřadit v tomto pořadí:

Přirozené (trvalé) travní porosty
Umělé (dočasné) travní porosty
Jetel luční
Vojtěška
Hrách setý
Bob obecný
Ozimá řepka
Len přadný
Oves
Ozimé žito
Ozimá pšenice
Jarní ječmen
Jarní pšenice
Cukrovka
Brambory
Kukuřice

Toto pořadí bylo sestaveno s přihlédnutím k parametrům biologickým (požadavky na vlastnosti půdy a klimatu, délka vegetační doby, pokryvnost listoví, kořenový systém a odrůdové rozdíly) i technologickým (požadavek na předplodinu, vlastní předplodinová hodnota, vztah k mezipločinám, způsob hnojení, použití chemických látek na ochranu, způsoby zpracování půdy, setí a sázení i sklizně, doba a délka posklizňového období), (Kvěch a kol., 1985).

3. 1. 6 Snížení degradačních vlivů eroze

Z výsledků výzkumu je známo, že při 5° svažitosti pozemku je přípustná velikost honu do 20 ha, při sklonu do 7° činí maximální rozloha honu do 15 ha. K omezení vodní eroze je třeba kromě vhodné velikosti honu upravit pozemky s délkovou orientací po vrstevnicích (tab. 1). Při značné svahové variabilitě honu je nutno uplatnit protierozní opatření, např. volit zatravnovací pásy. V celé Spolkové republice Německo jsou povoleny hony o výměře maximálně do 30 ha. Podrobným sledováním bylo zjištěno, že nad tuto velikost honu jsou již dříve uváděné ekonomické výhody v úsporách pohonných hmot, využití strojů a pracovních sil jen nepatrné. Naopak v důsledku řady negativních ekologických dopadů dochází ke snižování výnosů plodin a také k nepříznivým zásahům do existence drobných i vyšších

živočichů. Proto je třeba uspořádání půdního fondu považovat za velmi důležité ekologické opatření, které by mělo uvedené nedostatky odstranit. Přitom si tato realizace nevyžaduje prakticky žádné finanční náklady, ale naopak se pozitivně promítá do zlepšeného využití půdy v zemědělských podnicích a přispívá tak k ekologickému utváření krajiny (Vach a Javůrek, 2008).

Tab. 1 Stanovení výměry a rozměru honu v závislosti na sklonu terénu (dle Černého a kol., 1982), upraveno

Sklon terénu ve stupních	Výměra honu (ha)	Přibližné rozměry honu (m)	
		šířka	délka
Do 3	35	500	700
5	20	380	530
7	15	320	470
10	8	200	400

Eroze zemědělské půdy je významným problémem například v Indianě. Nejen, že produktivní potenciál na zemědělské půdě klesl, ale živiny a pesticidy obsažené v sedimentech (konečném produktu eroze) jsou hlavním zdrojem znečištění vody. Klíčem k minimalizaci eroze půdy je sám zemědělec. Nakonec, on je ten, kdo musí snížit úroveň, ve které jsou erozní usazeniny uvolňovány z jeho obhospodařované půdy (Steinhardt et Franzmeier, online).

Ztráta produktivity výrazně souvisí se ztrátou úrodnosti - tj. ztrátou schopnosti půdy poskytnout dostatečné množství živin pro udržitelný růst rostlin. Živiny přidány na ornou půdu v průběhu mnoha let zůstávají z velké části v ornici, zatímco v podloží je mnohem nižší obsah živin. Například data půdní charakteristiky z Purdue University Laboratory ukazují, jak velký může být v některých půdách obsah fosforu v ornici, na akr až 97 pounds (1 pounds = 454g), a jak malý v podloží, 4 pounds na akr (Steinhardt et Franzmeier, online).

3. 2 Orná Půda

Půda, jako prostředek k pěstování rostlin, je klíčovým zdrojem v rostlinné výrobě. Půda podporuje základní fyzikální, chemické a biologické procesy, které se musí uskutečnit s cílem pro rostlinný růst, reguluje vodní proudění na rozhraní infiltrace, uchovávání kořenové

zóny, hlubokou filtraci a odtékání a působí jako nárazník mezi výrobními vstupy a životním prostředím. Půda může také fungovat jako degradační nebo imobilizační faktor při eliminaci zemědělských chemikálií, odpadů, nebo jiné potenciální znečišťující látky, a může zmírnit změnu klimatu tím, že sekvestruje (odlučuje) uhlík z atmosféry (je-li rychlost organických látek vyšší než rychlost oxidace), (Kemper et al., 1997). Jak dobře tyto funkce půda plní závisí na její kvalitě (USDA, online).

3. 2. 1 Půdní struktura

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 organického 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).

Jak uvádí Kostelanský et al. (1997), strukturotvorný proces je neoddelitelnou součástí půdotvorných procesů, a je proto ovlivňován faktory abiotickými (povětrnostní vlivy, minerální látky, voda), biotickými (kořeny rostlin, kořenové extrakty, půdní fauna) a antropickými (zpracování půdy, způsob hospodaření na půdě), (Hůla a Procházková, 2008).

3. 2. 2 Fyzikální a chemické vlastnosti půdy ovlivněné erozí

Dlouhodobým působením eroze se mění kvantitativní a kvalitativní vlastnosti půd. Kvantitativní změny spočívají především ve zmenšování hloubky půdního profilu a plochy půd v případě velmi intenzivní eroze, kvalitativní ve změně jejích vlastností a snížení úrodnosti půd (Janeček a kol., 2002).

3. 2. 3 Vlastnosti fyzikální

Důsledkem eroze půdy je změna fyzikálních vlastností půdy, zejména struktury, textury, objemové hmotnosti, vodní kapacity, pórovitosti, infiltrační schopnosti, příznivé hloubky pro vývoj kořenů aj. Podorniční materiál, který byl po zerodování ornice vystaven vlivu eroze, má obvykle nízký obsah organických látek. Proto se zdůrazňuje důležitost organické hmoty ve dvou oblastech – ve vývoji struktury agregátů a v jejich stabilitě. Degradace struktury účinkem dešťových kapek je hlavní příčinou poškozování agregátů. Tyto agregáty jsou rovněž snadněji rozrušovány a uvolňovány činností dešťových kapek a povrchová krusta (půdní škraloup), která často vzniká, omezuje infiltraci a zvyšuje povrchový odtok (Janeček a kol., 2002).

3. 2. 4 Vlastnosti chemické

Eroze půdy má vliv i na chemické vlastnosti půdy, zejména ve třech důležitých bodech:

- snižuje obsah organické hmoty a humusu v půdě
- snižuje obsah minerálních živin v půdě
- obnažuje podorničí s nízkou přirozenou úrodností a vyšší kyselostí

Procesy eroze zvyšují kyselost půdy a potřebu vápnění podle Frya, Benneta, Buntley (1985) třemi způsoby:

- odnosem ornice a obnažením kyselejšího podorničí
- selektivním vymýváním bazických prvků (K, Ca, Mg)
- odplavováním aplikovaného Ca ještě před reakcí, která by neutralizovala kyselost (Janeček a kol., 2002).

3. 2. 5 Vlastnosti půdy z hlediska erodovatelnosti

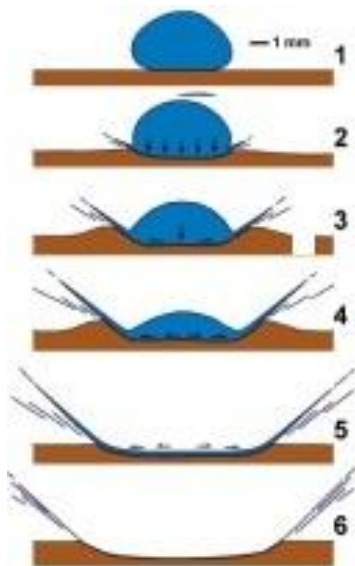
Smith a Wischmeier (1962) poukázali na to, že půdní vlastnosti, které ovlivňují erodovatelnost půdy vodou, mohou být seskupeny do dvou typů: vlastnosti ovlivňující infiltraci a propustnost, a vlastnosti, které odolávají rozptýlení, kapkové erozi, otěru a přepravě jednotek dešťovými srážkami a odtokem. Z těchto důvodů mají strategie řízení za cíl zlepšit půdní fyzikální a hydrologické vlastnosti (Fitzgerald et al., 1998; Bhattacharyya et al., 2008).

3. 2. 6 Erodatelnost půdy

Erodatelnost půdy závisí na řadě půdních vlastností, fyzikálního, chemického a mineralogického charakteru, které se dají poměrně snadno změřit (Kinnel, 1993). Rozhodující je stupeň stability půdních agregátů pod vlivem energie dopadajících dešťových kapek. Poměr mezi destruktivním působením deště na půdní povrch a odolností půdního povrchu je dán výškou následného povrchového odtoku (Badalíková a Hrubý, 2009).

3. 3 Kapková eroze

3. 3. 1 Co je kapková eroze a jak vzniká



Obr. 1: Postupy kapkové eroze (Engelhardt, online), upraveno

1. zásahy 4 mm velkých dešťových kapek až $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na zem
2. krátké období (μsec) působení velkými tlaky na půdní povrch
3. a může jej deformovat
4. bez infiltrace se kapky odchylují radiálně s přibližně dvojnásobnou pádovou rychlostí.
5. to vede k velkým smykovým silám, kterými se odtrhnou spojené půdní částice
6. stříkající kapky s rozpuštěnými půdními částicemi odlétají až 1,5 m vysoko a poměrně daleko

Kapková eroze se člení na proces oddělení a transportu:

- Oddělení se dosáhne:

- erupcí vzduchu při průniku vody do silně vysušených agregátů
- dopadem kapky / odstříkem - zejména velké kapky padají rychleji ($9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 32,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), než infiltrace vody, odchylují se laterálně (bočně), zdvojnásobí se rychlost pádu a to vede k vysokým smykovým silám (obr. 1)
- smykovými silami povrchového odtoku, které jsou mnohem menší, soustřeďují se jen k odpoutání při samotném odtoku
- pak přijdou formy lineární eroze - drážky, kanály, rýhy (Engelhardt, online).

Oddělitelnost se zvyšuje s rostoucí kinetickou energií deště (Engelhardt, online).

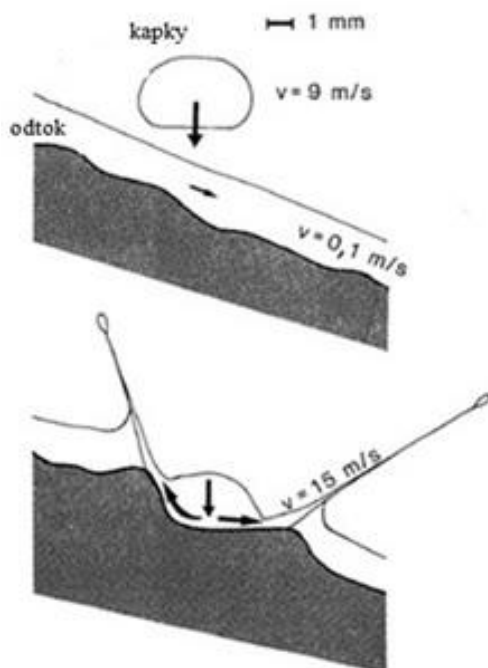
Oddělitelnost se zvyšuje s menším obsahem jílu a organické hmoty, s méně stabilními agregáty a s menší ochranou kamenitých povrchů půdy před kapkami deště (Rinklebe, 2006, online).

• Transportu se dosáhne:

- stříkajícím účinkem kapek (transportní množství je velké, ale dešťové kapky jsou směřovány jen mírně a čistý účinek zůstává nízký)
- tenkou vrstvou odtoku na široké ploše (půdní prachové částice mohou být kapkami vyvolanou turbulencí drženy v suspenzi)
- koncentrovaným povrchovým odtokem v kanálech, drážkami, a příkopy (tak mohou dokonce být přepravovány i kameny), (Engelhardt, online).

Transportovatelnost (převážnost) se zvyšuje s rostoucím povrchovým odtokem a proto s rostoucí intenzitou deště (tj. objemem za jednotku času), (Engelhardt, online).

Transportovatelnost se zvyšuje tím více, čím je nižší dostupnost infiltrace a čím menší částice se uvolňují. (Rinklebe, 2006, online).



Obr. 2. Rychlosti dešťových kapek, odstřík a odtok kapek, když dešťové kapky dopadnou na nakloněnou plochu půdního povrchu (Schachtschabel et al., 1998), upraveno.

Dešťové kapky při dopadu na povrch půdy způsobí krátkodobě (50 μ s) velmi vysoké tlaky na tuhé části povrchu, které mohou být až 10^6 Pa. Maximální tlak se vyskytuje v 1/2 až 1/3 poloměru středu kapky. Vzhledem k tomu, že kapky vody nemohou při rychlosti pádu infiltrovat do země, musí se posunout v radiálním směru po spodním povrchu. V tomto případě, dosahují v dolní části plochy až výše dvojnásobku pádové rychlosti. V důsledku vysoké rychlosti a krátké vzdálenosti od spodní plochy, vzniká vysoké smykové napětí v řádu 10^2 Pa. Malé částice jsou vytrženy z povrchu. Dešťové kapky současně stlačují a deformují prostřednictvím svého tlaku povrch půdy (obr. 2) a vyčleněné jemné částice ucpávají póry, které naplavením dešťovou vodou pronikají do půdy. To má za následek částečnou vrstvu kalu menší než 1 mm, která snižuje dostupnost infiltrace na povrchu půdy a podporuje povrchový odtok. (Schachtschabel et al., 1998).

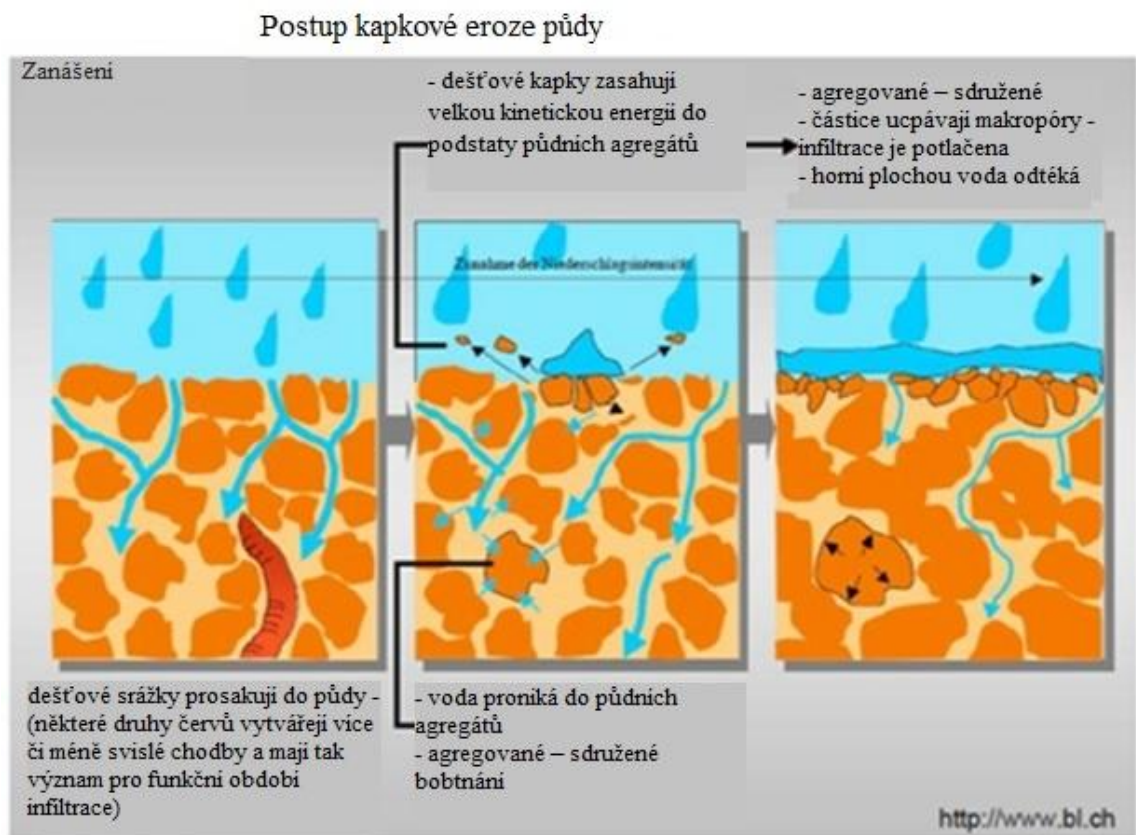
3. 3. 2 Vliv a působení kapkové eroze

Vliv kapkové eroze je již dlouho považován za hlavního erozního činitele (Ellison, 1944; Ekern, 1950). Dopad kapek vede k restrukturalizaci povrchu půdy, např. rozrušením a tvorbou půdního škrálopu (McIntyre, 1958; Moss, 1991; Le Bissonnais, 1996). Nárazy mohou tudíž oddělit a transportovat půdní fragmenty (Ellison, 1944; Moss et Green, 1983; Bradford et Huang, 1996). Tyto dva jevy souvisí s působením kapkové eroze (splash), kterou je, současný odstřík vody a půdních úlomků dopadajícími kapkami deště na povrch půdy. Oddělení a transport půdních částic vyplývající z dopadu dešťových kapek, nebo krátkodobým rozstříkáváním, je obvykle první důležitý krok v řetězci procesů vedoucích ke ztrátě půdy a následnému transportu sedimentů. Padající kapky jsou schopné oddělit mnohem více půdy, než při nekoncentrovaném proudění pozemním, po kterém oddělené částičky mohou být unášeny a přepravovány tekoucí vodou (Hudson, 1995). Míra oddělitelnosti kapkovou erozí souvisí s kinetickou energií dešťových srážek, typem půd, zrnitostí (de Ploey et Savat, 1968; Sharma et al, 1991) a tloušťkou vodní vrstvy na povrchu půdy (Moss et Green, 1983; Kinnell, 1991). Míra transportovatelnosti působením kapkové eroze souvisí se sklonem (Savat, 1981; Planchon et al, 2000.), zrnitostí (Poesen et Savat, 1981) a charakteristikou kapkové eroze (Riezebos et Epema, 1985). Zvýšením kinetické energie dešťové kapky se zvyšuje půdní oddělitelnost. Hydraulický povrchový průtok se zvyšuje s nedostatkem vegetace, který také zvyšuje citlivost půdy k erozi, snížením soudržnosti a pevnosti ve smyku (Rickson, 2001), (Bhattacharyya et al., 2008).

3. 3. 3 Postup kapkové eroze půdy

Nárazem dešťových kapek na povrch půdy je iniciováno odtržení částic zeminy z povrchu půdy. Působením energie dešťových kapek jsou po odtržení částice přepravovány od místa dopadu jedním nebo více z následujících dopravních procesů: rozstříkáním kapek, odtokem vyvolaným dešťovými kapkami a transportním odtokem bez stimulace dopadu kapek (Kinnell, 2005).

Obr. 3 Postup kapkové eroze půdy (Rinklebe, online), upraveno



1 - dešťové srážky prosakují do půdy - (některé druhy červů vytvářejí více či méně svislé chodby a mají tak význam pro funkční období infiltrace)

2 - dešťové kapky zasahují velkou kinetickou energií do podstaty- kvintesence půdních agregátů - při zvýšení srážkové intenzity - voda proniká do půdních agregátů, nastává agregované – sružené bobtnání a tím se snižuje pórovitost půdy

3 - agregované – sružené částice ucpávají makropóry, infiltrace je potlačena a horní plochou voda odtéká (obr. 3), (Rinklebe, online)

3. 3. 4 Fáze kapkové eroze

První fází plošné eroze je kapková eroze, kterou vznikají v půdě drobné jamky. Další fází je eroze, která probíhá při pohybu vody po nakloněné ploše půdního povrchu. Při malé kinetické energii vody jsou jí vyplavovány nejjemnější půdní částice a proto má silný výběrový (selektivní) účinek. Tím se na povrchu půdy tvoří hrubozrnná vrstva skeletu (tzv. kamenná dlažba), která současně chrání půdu před smyvem. Soustředěním plošného odtoku vzniká rýžková eroze o hloubce a šířce několika centimetrů. 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. Rýhovou erozi se doporučuje kvalifikovat hustotou dle erozních rýh v $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ (tab. 2), (Janeček a kol., 2002).

Stupeň	Délka erozních rýh ($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$)	Hodnocení eroze
1	pod 0,1	nepatrná
2	0,1-05	slabá
3	0,5-1,0	střední
4	1,0-2,0	silná
5	2,0-3,0	velmi silná
6	nad 3,0	výjimečná

Tab. 2 Třídění intenzity rýhové eroze podle délky erozních rýh (Bučko a Mazúrová, 1958), upraveno

Tab. 3 Třídění rýhové eroze podle rychlosti růstu erozní rýhy, (Janeček a kol., 2002), upraveno

Stupeň	Růst erozní rýhy v $\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$	Hodnocení eroze
1	pod 0,5	nepatrná
2	0,5-1,0	slabá
3	1,0-3,0	střední
4	3,0-5,0	silná
5	5,0-10,0	velmi silná
6	nad 10,0	výjimečná

I když hustota erozních rýh je vcelku výstižným ukazatelem intenzity lineární eroze půdy, nevystihuje její současnou aktivitu. Dobrým ukazatelem je např. rychlost růstu rýh retrogení (zpětnou) erozí (tab. 3), (Janeček a kol., 2002).

Nejvyšší formou eroze jsou strže, jejichž příčný profil má rozměry v řádu větším než 1m (Janeček a kol., 2002).

3. 3. 5 Problém kapkové eroze z hlediska krajiny

Eroze je jevem normálním a přirozeným. V normálním měřítku se projevuje modelováním krajiny, ve zvýšeném měřítku negativními projevy (Dostál a kol., 2001).

Jedním z faktorů, které výrazně ovlivňují intenzitu eroze půdy kromě jiných, je i výskyt erozních srážek, jejich četnost, velikost a rozdělení v průběhu roku. Tento faktor vyjadřuje vliv srážek - především jejich intenzity a úhrnu - na průměrnou dlouhodobou ztrátu půdy a umožňuje její kvantifikaci pomocí Univerzální rovnice ztráty půdy autorů Wischmeiera et Smitha (1978). Srážkové faktory používané v současné době u nás nebyly v jednotlivých částech ČR určovány stejnou metodou, v některých případech byly počítány z poměrně krátké časové řady. Ve srovnání s hodnotami R-faktoru používanými v sousedních zemích jsou hodnoty R-faktoru publikované v ČR nižší. Pracoviště KBÚK (Katedra biotechnických úprav krajiny) se zabývalo zpracováním srážkového faktoru R metodou Wischmeiera et Smitha (1978), jeho aktualizací a zjišťováním trendů výskytu erozních srážek na vybraných stanicích ČHMÚ. Vyhodnocení erozně nebezpečných přívalových dešťů ukázalo mírně stoupající trend jejich výskytu v hodnoceném období 1970 – 1986 a zároveň i posunu jejich výskytu do podzimních měsíců (srovnání s rozdělením R faktoru – Janeček, 1992), (Kovář a kol., 2005).

3. 4 Podmínky pro vývoj kapkové eroze

3. 4. 1 Účinnost dešťových kapek

Pro hodnocení erozivního smyvu půdy jsou využívány různé metody. Podle Janečka a kol. (2006) závisí na obdělávání pozemku a na R faktoru, což je účinnost dešťových kapek. Ta se mění podle charakteru deště a půdních vlastností (Badalíková a Hrubý, 2008).

Účinnost dešťových kapek – (R - Regenerosität) se nechá vypočítat následujícím způsobem (Engelhardt, 2005):

$$R = E_{kin} \cdot I_{max,30}$$

E_{kin} = kinetická energie

$I_{max, 30}$ = maximální intenzita deště po dobu 30 minut

Erozní účinnost deště (R) je označovaná též jako index EI_{30} . Tento faktor (index) je produktem kinetické energie deště a jeho maximální 30 - ti minutové intenzity (Jakubíková, 2008):

$$R = EI_{30} = (E_d / 100) \cdot I_{30}$$

R - erozní účinnost deště ($MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot hod^{-1}$)

E_d - kinetická energie deště ($J \cdot m^{-2}$),

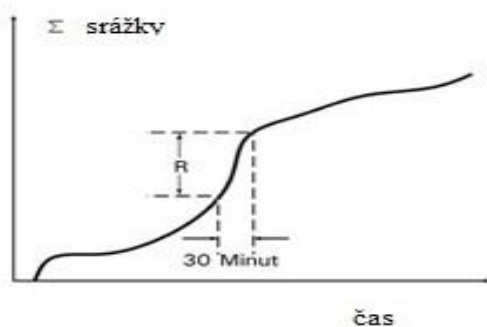
I_{30} - max. 30 - ti minutová intenzita ($cm \cdot hod^{-1}$)

R faktor představuje erozní účinnost deště, což je jeho schopnost (potenciál) erozně působit na povrch půdy, tj. uvolňovat půdní částice z povrchu půdy a rozrušovat půdní agregáty. Erozní účinnost deště je určena kvalitativními charakteristikami deště (kinetickou energií, intenzitou, resp. jejich kombinací). Určuje se rozbořem ombrogramu (průběhu celkového množství srážek v čase z kterého se dá odvodit intenzita srážky) nebo z mapy (Jakubíková, 2008).

3. 4. 2 Stanovení kinetické energie deště

Kinetická energie je určena rychlostí nárazu, v závislosti především na velikosti kapky (dále účinky větru, procesy turbulence, různé kapkové formace) je empiricky odvozena od vydatnosti deště I [$mm \cdot h^{-1}$], (Engelhardt, 2005).

Graf 1. Odvození I_{30} k určení indexu EI_{30} (Engelhardt, 2005)

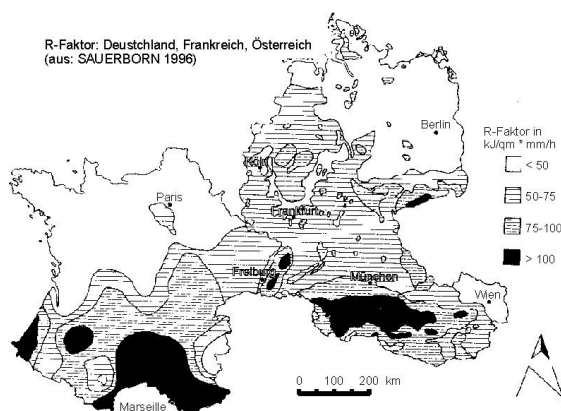


Graf 1. Odvození I_{30} k určení indexu EI_{30} (Kirchner, 2005), upraveno

Průměrná roční erozní účinnost dešťových srážek je odvozena z ročního součtu EI_{30} hodnot jednotlivých dešťových událostí za multi-reprezentativní období. Při výběru tohoto období je třeba uvést, že většina erozivních dešťových srážek je někdy i jen velmi ojedinělá (Engelhardt, 2005).

3. 4. 3 Účinnost dešťových kapek (Regenerosität - R) - celosvětově

Na následující mapě (obr. 4) je ve velkém měřítku rozložení průměrné erozní účinnosti dešťových srážek v Německu, Francii a Rakousku. Z modelu je zřejmé, že v Německu se zvyšuje erozní účinnost dešťových srážek od severu k jihu a na horách. Vedoucí pozici v nízkých horách přebírá poměrně velké území na severu a v jižním Schwarzwaldu. V Rakousku jsou hlavní oblasti erozní účinnosti dešťových srážek ve velkém měřítku pohoří. Francie spadá k silnému rozdělení mezi severem a jihem. Vysoká erozní účinnost dešťových srážek v jižní Francii je výrazem zóny, která je již v "zimních vlhkých subtropích.", (Engelhardt, 2005).



Obr. 4 Průměrná erozní účinnost dešťových srážek v Německu, Francii a Rakousku (Engelhardt, 2005)

Tabulka (tab. 4) ukazuje typické hodnoty pro průměrné roční erozní účinnosti dešťových srážek EI_{30} pro některé oblasti světa. V tropech, ale také v USA dosahuje erozní účinnost dešťových srážek řádově vyšších hodnot než u nás (Engelhardt, 2005).

V tropických oblastech je erozivních 40 % dešťových srážek, ale v mírných pásmech jen 5 % (Hudson, 1981; Glaser, 2006).

Země	EI ₃₀ (kJ . mm . m ² . h ⁻¹)
Německo	30 – 150 (> 70 jen v horách)
USA	90 – 1000
Kamerun	400 – 3500
Paraná (Brazílie)	600 - 1200

Tab. 4 Průměrné roční erozní účinnosti dešťových srážek EI₃₀ pro některé oblasti světa. (Engelhardt, 2005), upraveno

3. 5. Obecná ztráta půdy

3. 5. 1 Podle USLE (Universal Soil Loss Equation)

$$A = R . K . LS . C . P$$

USLE (Universal Soil Loss Equation), v USA Wischmeier & Smith (1978) - Universální rovnice ztráty půdy, počítá s dlouhodobou průměrnou hodnotou ztráty půdy na základě rovnice (viz výše) pomocí pěti faktorů:

R - faktor erozní účinnosti deště a povrchového odtoku

K - faktor erodovatelnosti půdy

LS - topografický faktor - (L - faktor délky svahu), (S - faktor sklonu svahu)

C - faktor ochranného účinku vegetace

P - faktor protierozního opatření

(Jakubíková, 2008).

3. 5. 2 Podle ABAG (Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung)

$$A = R . K . L . S . C . P$$

ABAG (Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung), v Německu Perner (2011) popisuje průměrnou roční ztrátu půdy v t / ha / rok jako produkt faktorů:

R - srážky a odtok

K - erodovatelnost

L - délka svahu

S - sklon svahu

C - faktor pokrytí a zpracování půdy

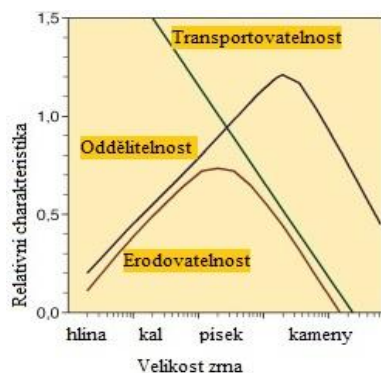
P - faktor protierozní ochrany

Vzhledem k tomu, že bylo potřebné empirickou povahu USLE modelu pro použití v Německu přizpůsobit na německé (bavorské) podmínky. Schwertman et al. (1987) vyvinuli modifikaci rovnice ztráty půdy - Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG). Regionálně variabilní vstupní parametry byly stanoveny na základě německých půdních podmínek, podnebí a podmínek růstu. Model lze považovat za dostatečně schválený a měl by umožňovat dosažení dobrých výsledků i v severním Německu. Tím, že kombinuje USLE s GIS (Geografický informační systém - Geographic information system), a s ARC / INFO je možné vypočítat erozní hodnoty pro povodí s diferencovaným opatřením (Fränzle, online).

3. 5. 3 Erodivatelnost půdy - (K)

Erodivatelnost půdy (K) může být srovnávána s vlastnostmi půdy.

Oddělitelnost se zvyšuje s menším obsahem jílu a organické hmoty, s méně stabilními agregáty a s menší ochranou kamenitých povrchů půdy před kapkami deště. Transportovatelnost se zvyšuje tím více, čím je nižší dostupnost infiltrace a čím menší částice se uvolňují. Oddělitelnost a transportovatelnost prachovitých půd bez kamení je vysoká. To jsou současně obzvláště úrodné, a tak intenzivně využívané orné půdy, které jsou proto zřetelněji ohroženy (Rinklebe, 2006, online).



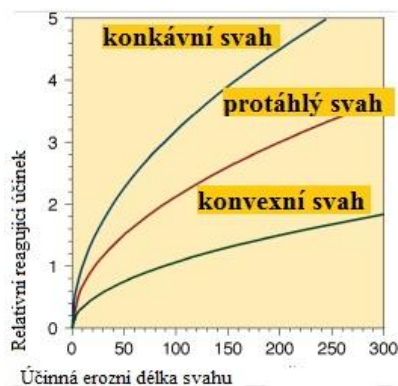
Graf 2. Erodivatelnost, oddělitelnost a transportovatelnost (přepřavitelnost) vzhledem k zrnitosti půd. Relativní charakteristika erodovatelnosti, oddělitelnosti a přepřavitelnosti v závislosti na zrnitosti půdy (hlína, kal - bahno, písek, kameny), (Rinklebe, 2006, online), upraveno

Faktor K představuje erodovatelnost půdy tj. náchylnost půdy k erozi, tzn. schopnost půdy odolávat působení erozních činitelů (srážek, povrchového odtoku). V užším slova smyslu je erodovatelnost dána fyzikálními charakteristikami půdy, obecně pak i způsobem a metodami užívání půdy. Hodnota faktoru K se určuje z výsledků texturální a strukturální analýzy porušených půdních vzorků a dalších hydrofyzikálních charakteristik (Jakubíková, 2008).

Účinky srážkových rozdílů, svahu, krytu, a jejich obhospodařování jsou kalkulovány v predikci rovnice symboly R, L, S, C, a P. Proto faktor erodovatelnosti půdy K, musí být vyhodnocen bez ohledu na účinky uvedených faktorů (Wischmeier et Smith, 1978).

3. 5. 4 Svažítost - (L)

S rostoucí erozní účinnou délkou svahu (tj. nižším odtokovou soudržností svahové struktury, jak trvají silné deště) se zvyšuje množství odtoku, proto tedy i oddělitelné a transportovatelné kapacity (Rinklebe, 2006, online).



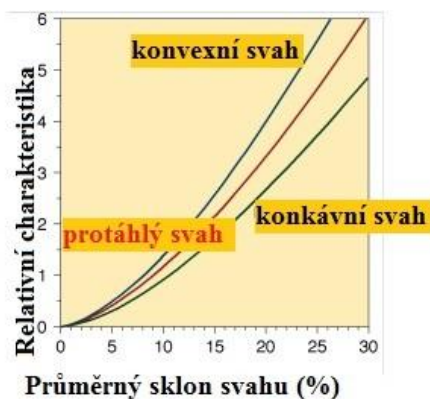
Graf 3. Relativní reagující účinek v závislosti na účinné erozní délce svahu (Rinklebe, 2006, online), upraveno

3. 5. 5 Sklon svahu (gradient) - (S)

S rostoucím sklonem se zvyšuje dopravní rychlost, dochází ke zvětšení způsobené smykové síly, což vede ke zvýšení, jak oddělitelnosti, tak i přepravitelnosti (Rinklebe, 2006, online).

Faktor LS představuje vliv délky a sklonu svahu na erozi tj. vliv nepřerušené délky svahu na ztrátu půdy. Vyjadřuje poměr ztráty půdy na vyšetřovaném pozemku o dané délce svahu ke ztrátě půdy z pozemku jednotkového o délce 22,13 m při stejných ostatních

podmínkách. Eroze se zvyšuje se zvyšující se délkou svahu, který je definován jako horizontální vzdálenost od místa vzniku povrchového odtoku k bodu, kde se buď sklon svahu sníží natolik, že začne ukládání erodovaného materiálu, anebo se odtok soustředí do odtokové dráhy (Jakubíková, 2008).



Graf 4. Reagující účinek konklávního (vyhloubený) a konvexního (vypouklý) povrchu půdy v závislosti na průměrném sklonu svahu (Rinklebe, 2006, online), upraveno

Parametry 72,6 ft délky (22,12848 m) a 9% strmostí byly vybrány jako základní hodnoty pro L, S a K, protože jsou to převládající sklon, délka a průměrný sklon, na nichž v minulých erozních měřeních ve Spojených státech byly provedeny. Topografický faktor (LS) - jak délka a strmost půdy svahu má podstatný vliv na míru vodní eroze půdy. Tyto dva vlivy byly hodnoceny samostatně v oblasti výzkumu a jsou reprezentovány v rovnici ztráty půdy podle L a S resp. nicméně v oblasti aplikace, s ohledem na oba jsou jako jediný topografický faktor, který je vhodnější (Wischmeier et Smith, 1978).

3. 5. 6 Využívání půdy (C)

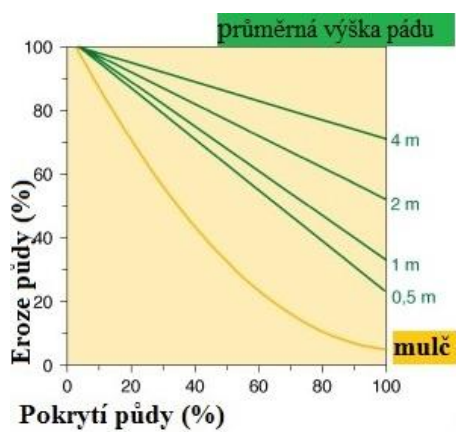
Účinky pokrytí a managementu nemohou být nezávisle vyhodnoceny, protože jejich kombinovaný efekt je ovlivněn řadou významných vzájemných vztahů. Téměř každá plodina se pěstuje kontinuálně, nebo může být pěstována v rotaci. Pořadí plodin ovlivňuje dobu, mezi po sobě následující rostlinné klenby, a to také ovlivňuje výhody plynoucích ze zbytkových účinků plodin a managementu (Wischmeier et Smith, 1978).

Se zvyšujícím pokrytím se snižuje eroze půdy, zejména v případě, že k pokryvu je použito mulče na povrchu půdy, chrání se jím od kapkové eroze, a zpomaluje povrchový odtok (Engelhardt, 2005).

Faktor C představuje ochranný účinek vegetačního pokryvu, tzn. jeho druh, stav v době výskytu příčinného deště a používané agrotechniky, které ovlivňují vznik a průběh

povrchového odtoku a eroze na svahu (pozemku) i v celém vyšetřovaném území. C faktor vyjadřuje ochranný účinek ve vztahu k pozemku bez vegetačního pokryvu. Podrobné stanovení hodnoty faktoru C se provádí na základě rozdělení vegetačního období plodiny do 5 pěstebních období (fenologické fáze) dle Jakubíkové (2008):

1. období podmítky a hrubé brázdy,
2. období od přípravy pozemku k setí do konce prvního měsíce po zasetí
3. období po dobu druhého měsíce od jarního nebo letního setí či sázení (délka trvání 3. období je jeden měsíc), u ozimů do 30. 4.
4. období od konce 3. období do sklizně
5. období strniště (od sklizně do začátku 1. období další plodiny)

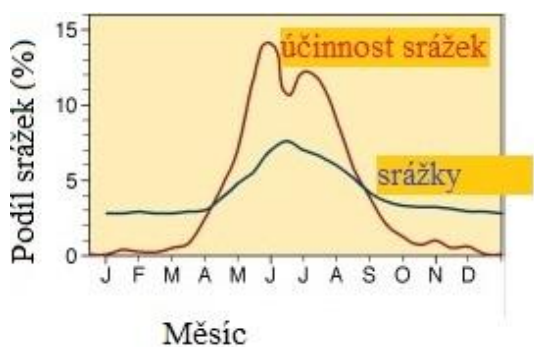


Graf 5. Eroze půdy v % v závislosti na pokrytí půdy v %, (průměrná výška pádu), (Rinklebe, 2006, online), upraveno

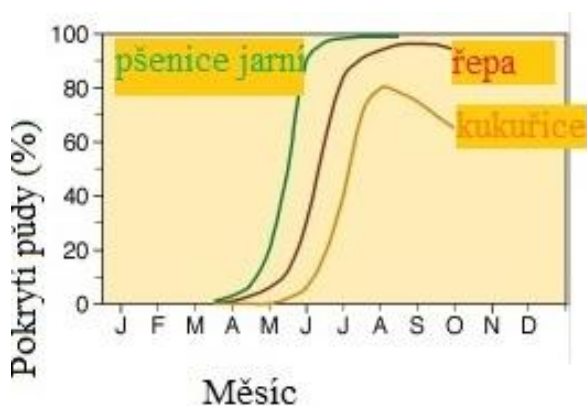
3. 5. 7 Účinnost kapkové eroze v závislosti na využití půdy (C)

Eroze klesá s rostoucím půdním pokryvem mulče pokrývajícím povrch půdy, brzdí odtok vody a chrání před kapkami deště (kapkovou erozí) – u půdy ležící ladem je $C = 1,0$ a $P = 1,0$. (Glaser, 2006).

Na grafech 6 a 7 je znázorněn vzájemný vztah kapkové eroze, účinnosti srážek a pokrytí půdy. Na jedné straně je v sezónním cyklu účinnost dešťových kapek mnohem výraznější než sezónní cyklus srážek, na druhé straně je závislá na pokrytí půdy v sezónním cyklu. Silný déšť může způsobit významnou erozi půdy, pokud spadá na málo chráněné plochy. Zejména však u pozdní zaseté plodiny s pomalejším mladým vývojem (kukuřice, ale brambory i cukrová řepa), je meziroční pokrytí v nepříznivém ročním cyklu účinnosti dešťových kapek. Tyto kultury proto silně podporují erozi. Vliv managementu se nazývá C-faktor (plodiny a pokrytí), (Rinklebe, 2006, online).



Graf 6. Částečný měsíční podíl srážek (Rinklebe, 2006, online), upraveno



Graf 7. Pokrytí půdy v závislosti na roční době pšenice jarní, řepy a kukuřice (Rinklebe, 2006, online), upraveno

3. 5. 8 Velikost listové plochy

Plodina	Index listové plochy (LAI) v (m ² . m ⁻²)
Obiloviny	6-8
Bob	3,5-4,5
Hrách	7-8
Kukuřice	2,5-5,0
Cukrovka	4-6
Krmná řepa	4-6
Brambory	2,5-3,5
Vojtěška	6-10
Jetel	5,5-8
Travní porosty	3,5-6

Tab. 5 Velikost (LAI) listové plochy u některých plodin (podle Petra, Černého, Hrušky a kol. 1980 sestavil Šimon), upraveno

Velikost listové plochy vedle prvořadé asimilační funkce má významný vliv i na zastínění půdy: tím ji ochraňuje před výparem a mechanickým rozrušováním deštěm. Index listové plochy (LAI) u různých plodin uvádí tabulka 5. Půda pod krytem rostlin má v hlubších vrstvách sice menší zásobu vláhy, avšak povrchové vrstvy chráněné plodinou proti výparu jsou naproti tomu vlhčí, kypřejší a schopnější přijímat srážkovou vodu. Rostlinný kryt rovněž tlumí výkyvy v teplotě půdy (Kvěch a kol., 1985).

3. 5. 9 Opatření ochrany půdy (P) – ochranná opatření

U plodin jako kukuřice nebo cukrová řepa je zakrytí půdy jen velmi pozdní, tak, že jsou mezi dolní mezí sklizně předchozí plodiny a dosažením dostatečného stupně pokrytí rostlinnou populací, po dlouhou dobu nechráněné před deštěm (Hiller, 2007).

Ochranná opatření (P) podle (Glaser, 2006):

- snížené zpracování půdy
- kultivace / zpracování půdy kolmo na svah
- tvorba povrchových struktur
- montáž ochranných plotů nebo travnatých pásů
- terasování
- pozemek krytý mulčováním

Vliv technologie zpracování půdy v porostech kukuřice na hodnotu faktoru P znázorňuje tabulka 6.

Ošetření	P ve vztahu k odstranění
Orání kukuřice, bez rostlinných zbytků	1
Orání kukuřice, s rostlinnými zbytky	0,15
Kukuřice nezorané bez rostlinných zbytků	0,28
Kukuřice nezorané, s rostlinnými zbytky	0,05

Tab. 6 Vliv ochranných opatření v porostech kukuřice, (Glaser, 2006), upraveno

Faktor P představuje vliv protierozních opatření, (např. vrstevnicový a pásový způsob hospodaření, ochranné zatravnování, příkopy, průlehy, terasy, protierozní hrázky, apod.) na ztrátu půdy. Tato opatření se používají k podpoře základních vegetačních opatření používaných k ochraně půdy proti erozi, kterými jsou např. druh vegetace, způsob obdělávání a hospodaření, mulčování apod. (ty jsou reprezentovány faktorem C). Protierozní opatření

ovlivňují intenzitu eroze změnou směru odtoku i jeho faktickým snížením, a tím mají vliv na snížení erozní účinnosti odtoku a podporují usazování částic. Stanovení vlivu protierozních opatření (PEO) - (hodnoty P faktoru) : $P = 1,0$ (bez PEO, skutečný stav před návrhem). V tabulce 7 je faktor P na základě metodiky podle sklonu svahu a počtu a šířky pásů, apod. (Jakubíková, 2008).

PEO (příklad hodnoty P faktoru)	Sklon svahu			
	2-7 %	7- 12 %	12-18 %	18-24 %
Vrstevnicové obdělávání	0,6	0,7	0,8	0,9

Tab. 7 Příklady hodnoty P faktoru (Jakubíková, 2008), upraveno

3. 6 Opatření agrotechnická

3. 6. 1 Setí po vrstevnici

Použití vrstevnicového zpracování (contouring) znamená, že zpracování půdy i setí je souběžné s vrstevnicí, jak je to jen možné (v mnoha případech je možné pouze v rámci svahu). Tak, že voda má daleko méně energie k odpoutání půdního materiálu. Vrstevnicové zpracování je však efektivní pouze pro slabé erozivní srážky. Extremní vlivy událostí vedou k zhroucení brázd, sadby řádků a k existenci drážkové i vážnější rýhové eroze. Ochranný účinek vrstevnicového zpracování je brán v ABAG pod faktorem P v úvahu. S ohledem na skutečnost zajištěné korelace, se ukazuje, že vrstevnicové zpracování má stanovená omezení (tab. 8), (Hiller, 2007).

Sklon svahu (%)	Maximální délka svahu (m) pro efektivní využívání vrstevnicového zpracování
1-2	130
3-5	100
6-8	70
9-12	40
13-16	30
17-18	20

Tab. 8. Maximální délka svahu (m) pro účinné používání vrstevnicového zpracování půdy v závislosti na sklonu svahu (Schwertmann, et al. 1987), upraveno

Vrstevnicové zpracování půdy (contouring) se zdá být nejúčinnější na svazích v 3 až 8 procentním rozsahu. Jak půda svahu klesá, blíží se rovnosti se sklonem řádků contouringu, a poměr ztráty půdy se blíží 1,0. Jak se svah zvyšuje, contouring snižuje kapacitu řádků a poměr ztráty půdy se opět blíží 1,0. Praxe obdělávání půdy a pěstování ve vrstevnicích je obecně účinná při snižování eroze. V omezeném počtu terénních studií praxe předpokládá, téměř kompletní ochranu proti erozi, za bouří nízké až středně těžké intenzity, ale předpokládá, malou nebo žádnou ochranu proti příležitostným silným bouřím, které způsobují rozsáhlé narušení jednotlivých vrstevnicových řádků (Wischmeier et Smith, 1978).

3. 6. 2 Přítomnost mulče

Mulčování, kromě zpomalení odtoku vody zvyšuje tloušťku vodní vrstvy. Mulčovací materiály je možné již při 30 až 50% pokrytí vnímat jako dostatečnou ochranu (Schachtschabel et. al., 1998).

3. 6. 3 Mulčování

Specifická ochranná opatření jsou zvláště účinná, pokud v časných stádiích vývoje plodin chrání půdu silná vrstva mulče. Toho je dosaženo zejména pomocí mulčovacího setí (Rinklebe, online).

Použití rostlinných zbytků zahrnuje účinky kořenů rostlin, dlouhodobých zbytků zabudovaných do orby, změny půdní struktury, oddělitelnosti, hustoty, obsah organické hmoty, obsah a biologickou aktivitu, a pravděpodobně další faktory. Zbytkové účinky jsou nejvíce patrné během set'ového lůžka a v období zakládání (Wischmeier et Smith, 1978).

3. 6. 4 Začleněné zbytky

Na zkusné ploše údaje naznačují, že alespoň během set'ového lůžka a zakládání období, je snížení erozní efektivity zbytků smíchaných do horních několika centimetrů půdy mělkou orbou znatelně vyšší, než je zbývající účinek dlouhodobého ročního začlenění s deskovým pluhem. Nicméně, tyto zbytky jsou méně účinné, než když zůstanou na povrchu

(Wischmeier et Smith, 1978).

3. 6. 5 Pozitivní účinky mulčování

Mezi pozitivní účinky patří (Glaser, 2006):

- snižuje eroze a odtok vody
- přijímá půdní strukturu (snižuje destrukce agregátů od kapek deště)
- snižuje odpařování z půdy
- zvyšuje biologickou aktivitu
- podporuje boj proti plevelům
- snižuje teplotu půdy

3. 6. 6 Negativní účinky mulčování

Mezi negativní účinky patří (Glaser, 2006):

- zastavení rozpouštění N v mineralizaci organických látek, stanovených v mikroorganismech, a tedy není k dispozici rostlinám
- přitahuje krysy, myši, králíky, hady
- může zvýšit populaci některých druhů hmyzu
- případná podpora patogenních původců (např. plísni)

3. 6. 7 Národní a regionální metody CRM - použití ochrany půdy

Podle CTIC (Conservation Technology Information Center), Národního průzkumu Crop Residue Management (CRM), byla USA zemědělci praktikována CRM na cca 173 milionů akrů v roce 2000, nebo 58 procent z osázené rozlohy, až ze 142 milionů akrů v roce 1989. Ochrany obdělávání půdy CRM tvořily 36 procent výměry půdy osázení plodin v roce 2000, ve srovnání s 26 procenty v roce 1989. Většina růstu ochrany obdělávání půdy od roku 1989 se realizovala zhodnocením rozšířeného přijetí minimalizačních technologií (no-tillage), který může nechat až 70 procent nebo více z povrchu půdy pokryté zbytky plodin. Osevní plocha v USA s uplatněním no-tillage se více než ztrojnásobila ze 14 až na 52 milionů akrů mezi roky 1989 a 2000, tj. zvýšení z 5 na více než 17 procent vysazených akrů. K některým růstům no-tillage využití došlo, protože zemědělci je prováděna ochrana shodou s plánem účelné způsobilosti zemědělského hospodaření s programem dávky poskytnuté podle 1985

Food Security Act a následujícími hospodářskými předpisy. Také, některé z rozšíření no-tillage použití od roku 1998 pravděpodobně pochází z přecházejících programů technologie zpracování půdy využitím mulče (mulch-tillage) farmáři (USDA, online).

3. 6. 8 Hlavní výhody metody CRM

Výhody Technologie řízení zbytků plodin (Crop Residue Management - CRM) jsou následující:

- snížená eroze půdy
- čistší povrchový odtok
- vyšší půdní vlhkosti a infiltrace vody
- lepší dlouhodobá úrodnost půdy
- snížené uvolňování oxidu uhličitého a znečišťování ovzduší

(USDA, online)

3. 6. 9 Zpracování půdy

Typ, frekvence a načasování operací zpracování půdy ovlivňují pórovitost, drsnost, hroudovitost, zhutnění a mikrotopografii. Tyto oplátkou ovlivňují příjem vody, povrchové ukládání, odtokovou rychlost, a půdní oddělitelnost, z nichž všechno jsou faktory potenciální eroze (Wischmeier et Smith, 1978).

Osvojení trendů no-tillage (NT) ve státě Minnesota (1995-2000) je stále pomalu klesající podle CTIC (Conservation Technology Informační centrum, 2000). Přijetí rozhodnutí se pohybovala od 4,3 až 6,6 % pro NT produkci sóji a 4% pro NT kukuřice.

Hill (2001) rozdělil pěstitele do kategorií využívání NT postupů v celém severním Corn Belt a zjistil, že nedostatečné přijetí rozhodnutí bylo spojeno na základě snížení výnosu dlouhodobého NT.

Krátkodobé NT nebo systémy rotačního zpracování půdy mohou být výhodné v severním Corn Belt z důvodu úspory času, práce, a zachování podmíněnosti (Vetsch et. al., 2007).

3. 6. 10 Možnosti eliminace eroze zpracováním půdy

1. Ochrana pokrytím je zachování pokrytí vytvořením a udržováním trvalých porostů na pozemcích v přestávkách zemědělské produkce. Hlavním cílem tohoto postupu je snížení eroze z půd, které by jinak byly holé
2. Vrstevnicový obsev jsou úzké proužky s trvalou vegetací střídavě s širšími obdělávanými pásy. Pásy trvalého vegetačního pomalého odtoku a zadržení sedimentu a dalších vodou přenášených nečistot. Tato praxe se používá na strmějším terénu a může pomoci snížit plošnou a rýhovou erozi
3. Vrstevnicové hospodaření zahrnuje výsadbu a pěstování plodin okolo kopce, spíše než nahoru a dolů kopce. Vrstevnicové řádky probíhají ve svahu téměř na úrovni. Vrstevnicové obdělávání snižuje plošnou a rýhovou erozi na svažité orné půdě
4. Vrstevnicové pásové pěstování je systém pěstování plodin v přibližně stejné šířce pásů nebo pásů ve vrstevnicích ke snižování eroze půdy. Plodiny jsou uspořádány tak, že pás louky nebo blízkého porostu, jako je oves, se střídá s proužkem řádků plodiny
5. Filtrační pásy jsou pásy trávy, která zpomaluje průtok vody a příčných kontaminujících látek, jako sedimentu, chemikálií, a živin ke sběru ve vegetaci. Filtrovaná voda pak vstoupí do vodních útvarů, jako jsou potoky a sinkholes (závrty). Účelem filtračních pásů je snížit množství sedimentu a živin, které vstupuje do nádrží
6. Stabilizační konstrukční stupně - v oblastech, kde je stávající nižší plocha, kanál, nebo rokle, mohou postavené stupně stabilizace struktury, pomáhat bránit erozi půdy a chránit kvalitu vody od shromažďování a ukládání odtoku vodou. Cíle této praxe jsou, stabilizace svahu, snížení eroze roklí, a zlepšení kvality vody. Přehrada je postavena přes rokly či nízké oblasti a povodí, jsou vykopány za hrází na rybníční vodě. Přepadové potrubí řídí hladinu vody a dovolí vodě rozlít se přes přehradu bez způsobení eroze
7. Zatrávněné vodní cesty jsou široké, mělké kanály určené pro pohyb povrchové vody z celé plochy zemědělské půdy, aniž by došlo k erozi půdy. Vegetativní kryt ve vodní cestě zpomaluje průtok vody a chrání povrch kanálu od rýhové a výmolové eroze. Vodní cesty jsou často konstruovány v přírodních depresích, kde vody se hromadí a tečou do nádrží
8. Břehová ochranná pásma jsou oblasti stromů a keřů přilehlých potoků, jezer a dalších vodních ploch. Pobřežní obsev lapačů sedimentu a živiny, které by jinak dosáhly vodních toků. Kořeny rostlin pomáhají kontrolovat erozi břehů přidržováním soudržnosti půdy. Stromy a keře také poskytnou domov pro volně žijící živočichy. Břehová ochranná pásma mohou také zahrnovat travnatý povrch na pomoc zadržení ještě více sedimentů a živin

9. Terasy jsou kameninové stavby, které zachycují odtok na středně těžkých až příkrých svazích, přeměnou podélného sklonu do několika menších. Voda chycená za terasou je vedena do nádrže. Terasy snižují množství povrchového odtoku a umožňují půdním částicím usazení

10. Vodní a sedimentační kontrolní bazény jsou krátké kameninové hráze postavené přes drainageway (staré vodní cesty) k zachycení sedimentu a zadržování vody. Zlepšují kvalitu vody povodí tím, že chytí sediment v pahorkatině a zabrání mu v dosažení vodních útvarů. Pomáhají také snižovat erozi roklí řízením průtoku vody v povodí. Jsou často používány tam, kde terasy jsou nepraktické (SWCD, online).

3. 6. 11 Půdní pohyb stopových látek při zpracování půdy

Studie využití půdních pohyblivých stopových látek (SMT - soil movement tracers) v závislosti na zpracování půdy a terénních podmínkách byla provedena na čtyřech systémech zpracování půdy, z nichž každý sestával z kombinace jedné orební metody a jedné terénní podmínky, byly (Thapaa, et. al., 1999):

1 vrstevnicová desková orba ve volném poli, řízená

2 vrstevnicové půdní překážky tvořené hřebenovým zpracováním půdy v otevřeném prostoru

3 vrstevnicové překážky tvořené přírodními travnatými pásy plus desková orba

4 vrstevnicové překážky tvořené kombinací hřebene zpracování půdy a přírodních travnatých pásů.

Ze 400 SMT (soil movement tracers – stopové pohyblivé půdní látky) zapravených na pozemku bylo navraceno 82 - 85% a nebylo ovlivněno systémem zpracování půdy (tab. 9).

Systémem zpracování půdy se ovlivní procento SMT vysídlených spádem ($p < 0,0001$). V RT-pásovém systému bylo pouze 54% z SMT přemístěno dolů ze svahu, kdežto v ostatních systémech bylo přemístěno dolů ze svahu $> 80\%$ využitých SMT (Thapaa, et. al., 1999).

Tab. 9 Procenta využití půdních pohyblivých stopových látek (SMT) a procenta, která se pohybovala klesáním z původní polohy čtyř systémů pěstování kukuřičných kultur na Claveria (Filipíny)

a - vrstevnicová desková orba ve volném poli, hřebenové zpracování půdy a obrysové přírodní bariéry travnatých pásů k omezení eroze při zpracování půdy

b – znamená, že v daném sloupci vyskytující hodnoty se významně liší u úrovně $p = 0,05$

c - procenta vysídlených spádem na řádku platí pouze ve sloupci

(Thapaa, et. al 1999), upraveno

System zpracování půdy	% navrácených SMT	% SMT vysídlených spádem ^c
Vrstevnicové, orba	85,2 a ^b	90,3 a
Vrstevnicové, hřebenové	83,7 a	80,0 a
Pásové, orba	81,5 a	80,6 a
Pásové, hřebenové	82,7 a	53,9 b
Standardní chyba	+ ₋ 1,2	+ ₋ 6,1

3. 6. 12 Možnosti eliminace eroze na orné půdě – opatření krajinného rázu

3. 6. 13 Biotechnická a technická protierozní opatření

Při řešení PEO (protierozní opatření) v určitém povodí nejsou samostatně použita agrotechnická a organizační opatření schopna ve většině případů podstatně omezit povrchový odtok. Proto je nezbytné rozdělit svažité, plošně značně rozsáhlé pozemky s neúměrnou délkou svahu, protierozními opatřeními (zejména liniového charakteru) a spolu s realizací nových svodných prvků (upravené a zatravněné dráhy soustředěného povrchového odtoku) vytvořit v povodí odpovídající síť nových hydrolinií (MŽP, 2008).

Technické prvky (v případě doplnění liniových prvků doprovodnou zelení mají charakter prvků biotechnických) však není možno navrhnout izolovaně, pouze dle výpočtu limitní šířky pásu (znemožňovalo by to vůbec zemědělskou činnost v často sklonitém, vertikálně a horizontálně členitém území České republiky), (MŽP, 2008).

Biotechnická opatření se v řešeném území navrhuje jako základní prvek komplexního systému ochranných opatření, který byl doplněn prvky organizačními a agrotechnickými. Biotechnické liniové prvky protierozní ochrany jsou trvalou překážkou přerušující délkou a napomáhající rozptýlení povrchového odtoku. Jsou navrhovány tak, aby svou lokalizací usměrňovaly směr obdělávání pozemků a způsob hospodaření zemědělských subjektů. Vedle základní funkce - protierozní - mají spolu s doprovodnou dřevinnou zelení na nich rostoucí velký význam i z hlediska krajinně estetického a ekologického. System liniových protierozních prvků v kombinaci se zelení může fungovat v krajině i jako nezbytná součást lokálních biokoridorů a tvořit tak základ územních systémů ekologické stability krajiny (MŽP, 2008).

Celková ochrana povodí sleduje tři základní cíle:

- co nejvíce podpořit vsakování vody do půdy

- omezit možnost, aby se odtok soustřeďoval do stružek, tzn. podpořit jeho rozptylování
- zpomalovat a neškodně odvádět povrchový odtok tak, aby nenabyl unášecí síly schopné odnášet zeminu

Mezi základní biotechnická a technická opatření patří (MŽP, 2008):

- systém protierozních mezí
- zasakovací pásy
- protierozní průlehy
- asanace drah soustředěného povrchového odtoku
- protierozní manipulační pásy
- protierozní příkopy
- protierozní nádrže

3. 6. 14 Eliminace tvorby povrchového odtoku

K předcházení tvorby povrchového odtoku by měla být dodržována protierozní opatření a zásady správné zemědělské praxe, podrobně popsána v brožurách GAEC (Good Agricultural and Environmental Condition - zásady správné zemědělské a environmentální praxe) a Cross Compliance (kontrola podmíněnosti) – jedná se hlavně o vyloučení pěstování širokořádkových plodin na svazích se sklonem 7° a vyšším, používání ochranných agrotechnických technologií zpracování půdy, vhodné rozmístění kultur (zatravnění nebo zalesnění svažitých pozemků), přerušování dlouhých svahů s ornou půdou (např. průlehy, zatravněnými pásy), aj. (Vopravil, 2010).

3. 7 Pásové zpracování půdy

Pásové obdělávání půdy se provádí vytvořením úzkého pásu bez zbytků, nebo náspu půdy asi šest palců širokém, čtyři-osm palců hlubokém a náhrnu asi tři-čtyři palce vysoko na 30 ti palcových řádcích plodiny. Povrch půdy mezi obdělávanými pásy se ponechá jako v no-tillage zpracování. Pásové obdělávání půdy vytváří příznivé prostředí pro rychlé klíčení semen kukuřice a růst sazenic. Operace pásového zpracování půdy může být dokončena po sklizni, nebo brzy na jaře před vlastní výsadbou. Zorané pásy půdy s menším povrchovým zbytkem jsou tmavé, takže nadměrná vlhkost se vysušuje a půda rychleji dosahuje zahřátí pro včasnou jarní výsadbu kukuřice (Iowa Learning Farms, online).

Pásové zpracování půdy (strip tillage) je poměrně nový protierozní systém vhodný pro dnešní zemědělce. V Ohio se nejčastěji používá jako součást no-tillage systému pro zvýšení výnosů kukuřice. Použití minimalizační technologie zpracování půdy (no-tillage) v produkci sóji se zvyšuje, ale kukuřice pěstované s no-tillage a jiných systémů ochrany zpracování půdy vyvrcholila v roce 1995 a klesá. Hlavním problémem je studená, mokrá půda na pěstování, která zpožďuje výsadbu a snižuje výnos (Hayes, online).

Randall a Hill (2000) rozlišují v rámci pásového zpracování půdy systém strip-tillage, který definují jako vytvoření pásů bez reziduí rostlin o šířce ± 15 cm s hloubkou zpracování půdy mezi 10 až 20 cm se současným uložením hnojiva. A dále definují zone-tillage systém, jehož základem je odstranění rostlinných zbytků z pásu širokého ± 20 cm. Hloubka zpracování půdy se pohybuje v rozmezí 25 až 50 mm. Pro zpracování půdy se využívá rýhovaných kotoučů.

3. 7. 1 Základní způsoby strip-tillage

Základní způsoby strip-tillage jsou odvozeny od typu použitých pracovních nástrojů a intenzity zpracování půdy (Precision Tillage 2006).

V rámci jednotlivých způsobů se jedná o (Brant, a kol., 2011):

- 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 set'ového 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.

3. 7. 2 Proč pásové zpracování půdy

Zpracování no-tillage kukuřičné produkce nebyla úspěšná na mnoha plochých, špatně odvodněných půdách v Ohio. Podzimní pásové zpracování půdy je dobrá alternativa k orbě (Hayes, online).

Ale stejně jako u jakékoli operace zpracování půdy, je třeba se vyhnout provozu, když půdní podmínky jsou příliš vlhké, a může dojít k tvorbě hrud a ke zhutnění (Iowa Learning Farms, online).

3. 7. 3 Kdy pásové zpracování

Podzim je nejlepší čas na provedení pásového zpracování. Hřebeny budou "měkké" během zimy a měly by být jen palec nebo dva vysoké na jaře. Za výsadby, by měla oblast být plochá. Je důležité, aby se aplikoval dusík na podzim do půdy nad 50 ° F (tj. nad 10°C). Jinak dochází k významným ztrátám dusíku. Pásové zpracování by mělo proběhnout, ihned po sklizni sóji, ke snížení rizika příliš vlhké půdy pro půdní zpracování. Pásové zpracování půdy se nedoporučuje pro trvalý osev kukuřicí, kvůli velkému množství zbytků (graf 8). V návaznosti na pšenici, by sláma měla být nakrájena krátce, a řádky použity čistější. Sójové zbytky jsou ideálním místem pro pásové zpracování půdy. Kombajn by měl sekát a rovnoměrně rozprostřít zbytky slámy (Hayes, online).



Graf 8. Zbytky na povrchu půdy po kukuřičné výsadbě – (předchozí plodina sója), (Hayes, online)

3. 7. 4 Výhody pásového zpracování půdy

1. Protierozní - nenarušené zbytky mezi kukuřičnými řadami (zachovávají dlouhodobě no-tillage výhody)
2. Zlepšení půdních podmínek - pro rozvoj kukuřičné produkce v řádcích (teplejší, měkké lůžko pro osivo)
3. Pruhování hnojiva - umístění živin v blízkosti kořenů rostlin umožní jeho snížené množství

4. Optimalizované podmínky pěstování - menší potřeba startovacího hnojiva z dřívější výsadby (Hayes, online).

Umístování hnojiv v brázdě činí živiny snadno dostupné pro mladé sazenice kukuřice a sojových bobů, pro jejich růst a má potenciál zlepšit efektivitu používání hnojiv (Iowa Learning Farms, online).

Významnou roli v rámci technologie strip-tillage hraje výživa rostlin. Základní živiny N, P a K je možné zapravit do půdy souběžně při jejím zpracování pomocí slupic umožňujících injektáž hnojiva. Při tvorbě pásů na jaře je potřebné zajistit minimální vzdálenost mezi uloženým hnojivem a osivem v rozmezí 12 až 16 mm (Randall et Hill, 2000).

3. 7. 5 Význam mikrotopografie - (některých druhů červů) pro funkční období infiltrace

National Soil Tilth Lab (NSTL) zjistila, že vydatné srážkové události mohou být absorbovány v no-tillage obhospodařovaných půdách s dobrou populací žížal 60 krát rychleji, než v půdě bez červů. To je neuvěřitelné zvýšení kvality půdy a půdního zdraví! Červí tunely, tvoří velké svislé póry, které umožňují preferenční proudění vody hlouběji do půdy a podloží půdy, spíše než pohyb vody pouze prostřednictvím půdních pórů a připojených pórů. Na IRF (Irrigation Research Foundation – Zavlažovací výzkumná nadace) v letech 2002 až 2005 u nasycených průtoků infiltrace jílovitě tvarovaných povrchových půd (půdní hydraulická vodivost) byl 3,1 až 8,0 krát rychlejší u strip-tillage (Petersen a Tichota nepublikováno) ve srovnání s konvenčním sekáč-disk zpracováním půdy. To je částečně způsobeno žížalími tunely / macropores. Pozorovali jsme infiltrační rychlosti od 2,4 in / hod na 5,3 in / h v strip-tillage s pomocí červích tunelů. Tento druh infiltrace snižuje erozi půdy, umožňuje hlubší pronikání vody a další hlubší kořenový vývoj, a v zavlažovaných plodinách, potenciálně méně aplikované vody. Laboratoř zjistila, že půda s počtem obyvatel 100 / yd² živých Nightcrawlers (*Lumbricus terrestris*) byla schopna absorbovat 2 palce / hod srážkové akce za 12 minut. Ve stejné půdě bez červů, míra absorpce vody byla více než 12 hodin. Při pozorování na základě skutečného počítání pórů, ve stejné studii IRF, ve čtverečním decimetru (10 cm x10cm - 4x4 in²) v hloubce 2 až 6 palců se ukázaly žížalí tunely v počtu 8 - 41, velikosti 2 až 5 mm v průměru (Petersen, online).

3. 7. 6 Potřebné vybavení

Existuje mnoho variant zařízení na pásové zpracování, ale následující je typické: řádkový čistič, radlice, pro zpracování půdy dříkem, a "zahrnující" disky. Všechny komponenty jsou umístěny na nástrojové liště vybavené řádkovými značkami. Je třeba mít stejnou šířku jako kukuřičný sazeč, nebo násobek, protože sázení bude probíhat přesně, kde jsou umístěny pásy. Řádkový čistič je důležitý v těžkých zbytcích k vytvoření pásma holé půdy. Hnojivo je často aplikováno při pásové zpracování půdy v kapalně nebo suché formě. Bezvodý amoniakální dusík se stabilizátorem může také být aplikován během pásového zpracování půdy. Přibližně 15 až 20 koňských sil na řádek je potřeba pro požadovaný výkon traktoru (Hayes, online).

Zkušené farmáři strip-tillage zdůrazňují potřebu dostatečné výkonové třídy traktoru na tažení zařízení pracujícího v optimálních otáčkách a hloubkou pro správné botky a akce nože, budování půdního náspu. Pravidlem je mít traktor o síle 15 až 20 koňských sil (hp) na řádku pásu obdělávání půdy. Například, 250-275 HP traktor bude zapotřebí k efektivnímu tažení 12 řádkové lišty pro strip-tillage půdy. Tím se umožňuje provoz zařízení na asi 5-6 mil za hodinu a na správnou hloubku (Iowa Learning Farms, online).

3. 7. 7 Pásové střídání plodin

Pásové střídání plodin sleduje snížení erozního účinku vložení různě širokých pásů s plodinami erozně méně ohroženými (travní porost, vojtěška, jetel, příp. obilovina) na pozemek s pěstovanou erozně ohroženou plodinou. Pásy jednotlivých plodin mohou být stejně široké při shodném osevním postupu nebo lze navrhnout různě široké pásy plodin dobře chránících půdu před erozí. Přitom se zohledňuje erozní ohroženost chráněné plodiny, velikost sklonu a tvaru svahu pozemku. Pásové střídání plodin ovlivňuje velikost hodnoty faktoru P a C v USLE (Podhrázská, 2009).

Nezávislá ochrana plodin je každoročně samostatně účinná ve střídání plodin, zejména cross-zpracováním (v jiných zemích také pásové pěstování plodiny, obr. 5). Napříč povrchem je hrubším vedením ve svahu a tím brzdí povrchový odtok. Čím větší je drsnost povrchu, tím větší je ochranný účinek. To je výrazné zejména u plodin, jako jsou brambory (Rinklebe, 2006, online).



Obr. 5 Vliv kulturně-nezávislé ochrany se nazývá P-faktor (= ochrana). V rozloženém spádovém pěstování, u rozsáhlých krajin jako v Severní Americe, může být dosaženo vzájemné ochrany různých kultur. Pásky však nesmí být širší než 50 metrů ((Rinklebe, 2006, online). Záznam: K. Auerswald

3. 8 Problematika eroze v kukuřici

3. 8. 1 Distribuce srážek v porostech kukuřice seté

Vegetační kryt půdy výrazně ovlivňuje množství srážky, které dopadá na povrch půdy a zároveň modifikuje rovnoměrnost jejího rozložení na jednotku plochy. Po dopadu dešťových kapek na porost dochází k jejich částečnému zachycení na rostlinách, převážně na listech, a část srážky propadá přímo, mezerami mezi vegetací, na půdu. Voda zachycená na povrchu rostlin se následně z povrchu rostliny odpaří v podobě intercepčního výparu, jehož hodnota v konečném důsledku snižuje množství srážek spadlé na povrch půdy. Při srážkách, jejichž velikost převyšuje zadržovací schopnost povrchu rostlin, dochází k odkapu vody z listů a k odtoku vody směrem k lodyze a následně ke stoku vody na zem. Znalost distribuce srážek v daném porostu ve vztahu k jeho parametrům lze využít k cílené eliminaci eroze při diferencovaném zpracování půdy, k podpoře infiltrace do půdy v místech soustředného transportu vody na půdu, k podpoře využití hnojiv při jejich cílené aplikaci, k omezení vodního stresu apod. (Brant, a kol., 2012).

3. 8. 2 Odkap vody z listů

Odkap vody z listů je většinou spojen s tvorbou větších kapek a s jejich soustředným odkapáváním na stejné místo, což vede k diferenciaci rozložení srážkové vody v porostu. Zároveň se tento proces může projevit výraznějším poškozením půdy v místech soustředného odkapávání ve srovnání s plochami, kde dochází pouze k přímému dopadu dešťových kapek (Brant, a kol., 2012)

3. 8. 3 Odkap v porostu kukuřice

Odkap z listů v porostech kukuřice je ovlivněn postavením listů na rostlině (erektofilní až planofilní), strukturou porostu ve vztahu k šířce řádků a vzdálenosti 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. Morfologická stavba rostlin kukuřice z hlediska přímého propojení listové plochy se stéblem poskytuje optimální podmínky pro svedení části vody ke stéblu a ke vzniku odtoku srážkové vody po stéble. Tato skutečnost rovněž přispívá k další heterogenitě rozložení srážky na povrchu půdy (Brant, a kol., 2012)

3. 8. 4 Půdoochranné technologie

V souvislosti s eliminací erozních procesů v porostech kukuřice seté jsou stále hledány nové technologické postupy pěstování této plodiny. Zásadní význam je v současné době přikládán zejména půdoochranným technologiím, jelikož základem 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).

3. 9 Modely ztráty půdy erozí

USLE (ABAG), čistě empirický model přispívá jen málo k pochopení složitých procesů, které způsobují erozi půdy (ABAG, 2007).

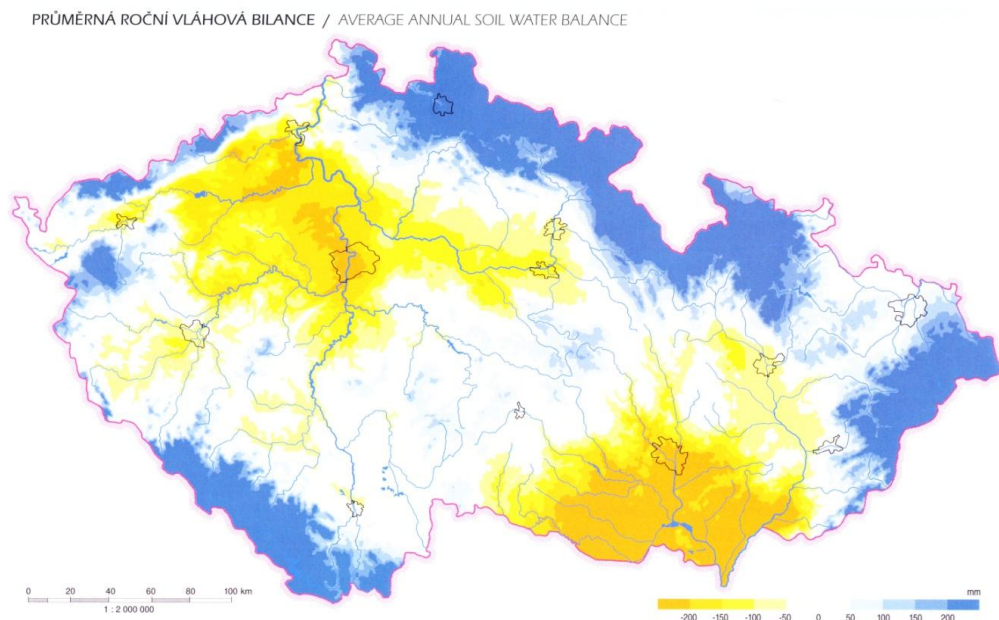
Nejméně dva procesně založené modely jsou v současné době propagovány jako alternativy k empirickým modelům jako je USLE (Wischmeier et Smith, 1965, 1978). Model WEPP, který byl vyvinut v rámci amerického ministerstva zemědělství (Laflen et al., 1997) a model EUROSEM (Morgan et al., 1998), který byl vyvinut v Evropě (Kinnell, 2005).

4 Experimentální část

4.1 Metodika

4.1.1 Zájmové území

K provedení polních experimentů pro ověření vlivu pásového zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze v porostech kukuřice seté byla v roce 2012 vybrána lokalita Račiněves (GPS koordináty: 50°22'58.780"N, 14°10'50.555"E) s nadmořskou výškou 268 m. n. m. a v roce 2013 lokalita Budihostice (GPS koordináty: 50.3172419°N, 14.2542631°E) s nadmořskou výškou 231 m. n. m.












Mapa č. 1. Průměrná roční vláhová bilance.

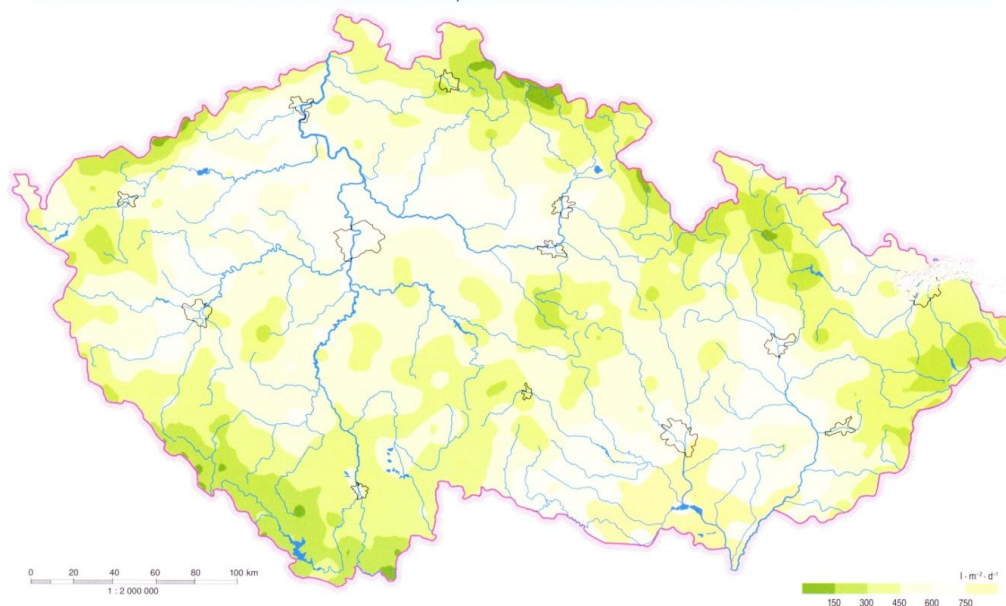
Mapa č. 1 znázorňuje rozložení vláhové bilance za rok a za vegetační období. Roční hodnoty pod -150 mm vymezují území s častějšími výskyty nedostatku srážek (ČHMÚ, 2007).

Do tohoto území spadají obě lokality prováděných pokusných experimentů.

Tab. 2.5 Stupnice sucha podle hodnoty IMMS
Table 2.5 Drought scale according to IMPD

Třída / Class	Rozsah / Range	Hodnocení oblasti / Area evaluation	
1	0 – 150	mokrá / <i>wet</i>	
2	151 – 300	velmi vlhká / <i>very moist</i>	
3	301 – 450	vlhká / <i>moist</i>	
4	451 – 600	mírně vlhká / <i>moderately moist</i>	
5	601 – 750	vyrovnaná / <i>balanced</i>	
6	751 – 900	mírně suchá / <i>moderately dry</i>	
7	901 – 1050	suchá / <i>dry</i>	
8	1051 – 1200	velmi suchá / <i>very dry</i>	
9	> 1200	vyprahlá / <i>parched</i>	

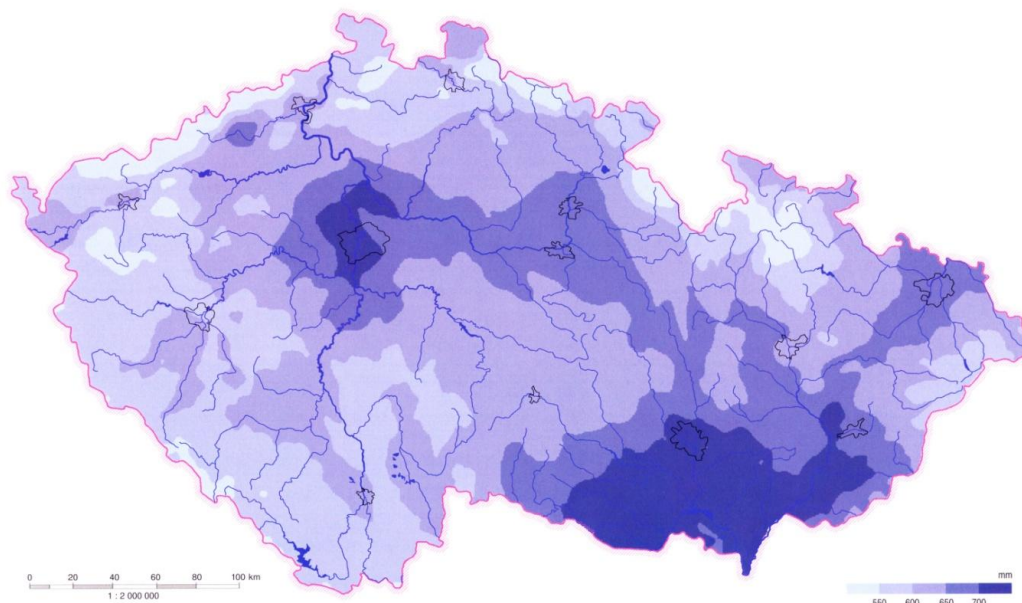
MEDIÁN INDEXU METEOROLOGICKY MOŽNÉHO SUCHA / MEDIAN OF INDEX OF METEOROLOGICALLY POSSIBLE DROUGHT



Mapa č. 2 znázorňuje index meteorologicky možného sucha (IMMS).

Mapa č. 2 včetně tabulky 2. 5. znázorňuje index meteorologicky možného sucha (IMMS), který je založen na integraci potenciálních deficitů vláhy ve vrstvě půdy 0 - 20 cm za vegetační období (1. duben - 30. září). Tyto deficity jsou v podstatě určeny bilancí srážek a potenciální evapotranspirace podle Penmana. Přitom se jednotně předpokládá, že jde o středně těžkou půdu s polní vodní kapacitou 44 mm a bodem trvalého vadnutí 21 mm. Fyzikální rozměr IMMS je 1 litr na m² za den (ČHMÚ, 2007).

Podle této mapy spadá území pokusných experimentů do vyrovnané až mírně suché oblasti.



Mapa č. 3. Průměrný roční úhrn referenční evapotranspirace.

Mapa č. 3 udává hodnoty referenční evapotranspirace (evapotranspirace hypotetické plodiny, která je velmi blízká standardnímu travnímu porostu s konstantní výškou 0,12 m, plným zápojem a optimálními vláhovými podmínkami během celého roku). Hodnoty referenční evapotranspirace se velmi blíží hodnotám potenciálním. Pro přesnost výpočtu mají velký význam vlastnosti vypařujícího rostlinného povrchu. Celoroční dlouhodobá referenční evapotranspirace se pohybuje přibližně v rozmezí od 450 do 750 mm. Měsícem s nejvyššími hodnotami referenční evapotranspirace je červenec s dlouhodobým průměrným výparem i přes 120 mm (ČHMÚ, 2007).

Území pokusných experimentů je charakterizováno hodnotou referenční evapotranspirace 550 až 600 mm.

4. 1. 2 Pokusné plochy v roce 2012

Pro stanovení vlivu rozdílných technologií zpracování půdy na množství rozstříknuté zeminy v porostech kukuřice seté v průběhu vegetace, prokázání závislosti mezi hodnotami kapkové eroze a sumou a intenzitou srážek a stanovení závislosti mezi pokryvností půdy, hodnotami kapkové eroze a stabilitou půdních agregátů byly v roce 2012 vybrány pokusné plochy na lokalitě Račiněves. Z hlediska půdní klasifikace se na pokusných pozemcích

jednalo o leptosoly, tj. půdy vzniklé z rozpadů a z bazálních i mělkých hlavních souvrství karbonátosilikátových zpevněných hornin, mnohdy skeletovité.

Z hlediska vláhové bilance je lokalita řazena mezi oblasti, kde průměrná hodnota roční sumy potenciální evapotranspirace převyšuje průměrnou sumu ročních srážek, (ČHMÚ, 2007).

4. 1. 3 Pokusné plochy v roce 2013

Pro stanovení vlivu rozdílných technologií zpracování půdy na množství rozstříknuté zeminy v porostech kukuřice v průběhu vegetace, prokázání závislosti mezi hodnotami kapkové eroze a sumou a intenzitou srážek a stanovení závislosti mezi pokryvností půdy, hodnotami kapkové eroze a stabilitou půdních agregátů byly v roce 2013 vybrány pokusné plochy na lokalitě Budihostice. Z hlediska půdní klasifikace se na pokusných pozemcích jednalo o kambizem.

Dle hodnocení vláhové bilance je lokalita řazena mezi oblasti, kde průměrná hodnota roční sumy potenciální evapotranspirace převyšuje průměrnou sumu ročních srážek (ČHMÚ, 2007).

4. 2 Postup polního experimentu

4. 2. 1 Varianty pokusu 2012

Tabulka 10 Technologické postupy hodnocené v provedených experimentech 2012

Označení variant	Zpracování půdy na podzim	Výsev meziplodiny na podzim	Aplikace na jaře	Kultivace půdy na jaře
ST	Kypření	Ředkev olejná	Bez aplikace kejdy	Provedení strip tillage
K	Kypření	Ředkev olejná	Aplikace kejdy (hloubka 120 mm)	Kypření
O	Orba	Bez meziplodiny	Bez aplikace kejdy	Plošná předseťová příprava a následný výsev kukuřice seté

Pokusné varianty pěstování kukuřice seté byly charakterizovány založením tří rozdílných technologií zpracování půdy ST – strip tillage, O – orba, K – kypření (tabulka 10).

4. 2. 2 Založení pokusných ploch 2012

Na pokusných variantách byly založeny tři rozdílné technologie pěstování kukuřice seté. Předplodinou byla obilnina. Na plochách nacházejících se po obilnině, kde bylo na podzim provedeno kypření půdy, byly založeny plochy s pásovým kypřením a plochy představující systém zpracování půdy bez obracení (kypření) s výsevem vymrzající meziplodiny (ředkev olejná). Na plochách představujících kypření půdy byla na jaře provedena plošná aplikace kejdy s následným zapravením do půdy do hloubky 120 mm. Na ploše určené pro technologii strip tillage a na orbě kejda aplikovaná nebyla. Kontrolní variantu představovala plocha s provedením orby na podzim a plošnou předset'ovou přípravou na jaře a s následným výsevem kukuřice seté (obr. 6).

Na základě předchozího textu byly založeny tři pokusné plochy o velikosti 1 ha.

1. Orba a příprava na jaře
2. Kypření na podzim s výsevem ředkve olejné (na jaře aplikace kejdy 20. 4. 2012 a kypření)
3. Kypření na podzim s výsevem ředkve olejné a provedení strip tillage - 19. 4. 2012
Výsev kukuřice 27. 4. 2012

Počet jedinců na ha: nastavený výsevek 80 000 tis. ha⁻¹

Hybrid: DKC482



Obr. 6 Pásové kypření půdy na jaře (19. 4. 2012)

4. 2. 3 Varianty pokusu 2013

Pokusné varianty pěstování kukuřice seté byly charakterizovány založením tří rozdílných technologií zpracování půdy MK – mělké kypření, O - orba, ST – strip tillage.

4. 2. 4 Založení pokusných ploch 2013

Na pokusné lokalitě bylo na jednom půdním bloku založeno šest pokusných ploch. Předplodinou byl jarní ječmen. V rámci experimentů byly založeny následující varianty zpracování půdy:

1. mělké kypření – 2x podmínka (hloubka \pm 120 mm)
2. orba – 1x podmínka (hloubka \pm 120 mm) a orba (hloubka \pm 250 mm)
3. provedení pásového kypření (strip tillage – ST) do strniště ječmene jarního
Provedení pásového kypření: 10. 10. 2012, hloubka \pm 250 mm (obr. 7)

Výsev kukuřice: 19. 4. 2013

Počet jedinců na ha: nastavený výsevek 88 400 na ha

Hybrid: PR38N86

Po provedení pásového kypření půdy byl stav povrchu půdy v roce 2012, znázorněný na obrázku 8.



Obr. 7 Pásové kypření půdy na podzim (10. 10. 2012)



Obr. 8 Stav povrchu půdy po provedení pásového kypření půdy (10. 10. 2012)

4. 3 Průměrné měsíční sumy srážek a průměrných teplot - dlouhodobé

Hodnoty měsíčních normálů sum srážek a průměrných teplot převzaté z meteorologické stanice Praha - Ruzyně k porovnání srážek a teplot pro období realizace polních experimentů viz tabulka 11.

Tab. 11 Průměrné měsíční sumy srážek (P, mm) a průměrné měsíční teploty vzduchu (t_{air} , °C) za normálové období 1961 – 1990 naměřené na meteorologické stanici Praha – Ruzyně, (<http://portal.chmi.cz/portal>), upraveno

	Měsíc											
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
P (1961-1990), (mm)	23,5	22,6	28,1	38,2	77,2	72,7	66,2	69,6	40	30,5	31,9	25,3
t_{air} (1961 – 1990), (°C)	-2,4	-0,9	3	7,7	12,7	15,9	17,5	17	13,3	8,5	2,9	-0,6

4. 3. 1 Průměrné měsíční sumy srážek a územní srážky 2012 a 2013

Porovnání průměrné měsíční sumy srážek s územními srážkami v průběhu experimentálních pokusů pro stanovení vlivu rozdílných technologií zpracování půdy na množství rozstříknuté půdy v porostech kukuřice v průběhu vegetace, prokázání závislosti mezi hodnotami kapkové eroze a sumou a intenzitou srážek a stanovení závislosti mezi pokrývností půdy a hodnotami kapkové eroze a stabilitou půdních agregátů, v roce 2012 –

2013. Od dlouhodobého normálu, byly roky 2012 a 2013 srážkově nadprůměrné (tab. 12, graf 9 a tab. 13, graf 10).

	Měsíc											
2012	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
N [mm]	32	30	36	43	70	75	72	73	46	36	40	35
P [%]	188	77	33	91	59	81	157	111	91	125	105	160
S [mm]	60	23	12	39	41	61	113	81	42	45	42	56

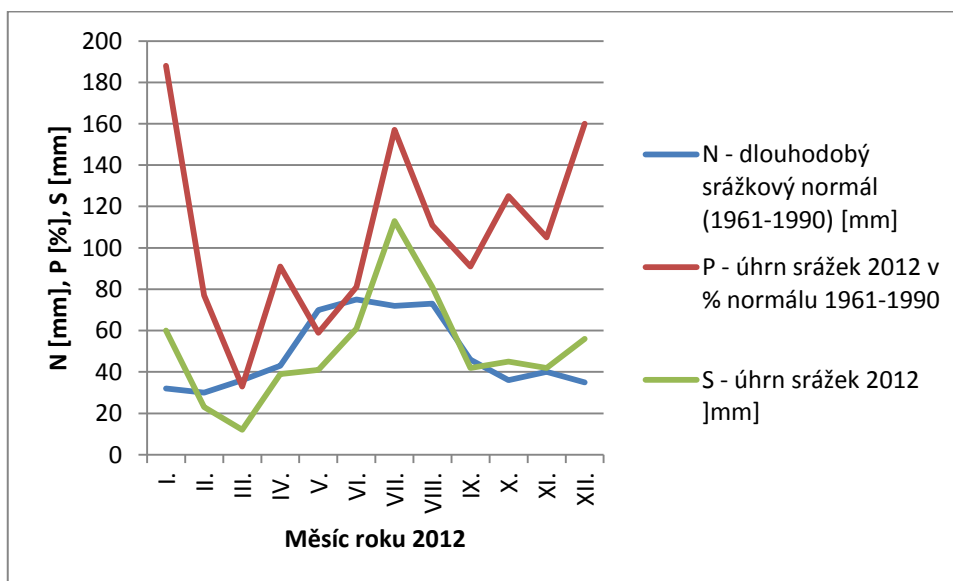
Tab. 12 Územní srážky v roce 2012 v (mm) a v (%) - Středočeský kraj, upraveno, (<http://portal.chmi.cz/portal>, 2013)

Vysvětlivky:

N – dlouhodobý srážkový normál 1961 - 1990 (mm). (viz tab. 11.)

S – úhrn srážek (mm)

P - úhrn srážek v % normálu 1961 – 1990 [%]



Graf 9 Úhrn územních srážek v roce 2012 v porovnání s dlouhodobým srážkovým normálem 1961 – 1990 v (mm) a v (%), dle tab. 12.

	Měsíc											
2013	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
N [mm]	32	30	36	43	70	75	72	73	46	36	40	35
P [%]	159	147	58	63	163	219	64	145	113	133	75	29
S [mm]	51	44	21	27	114	164	46	106	52	48	30	10

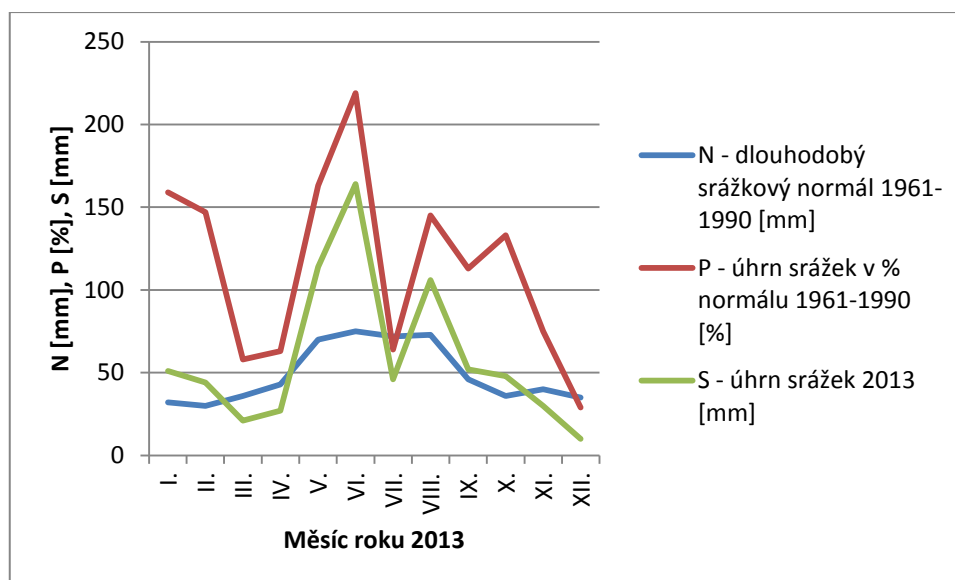
Tab. 13 Územní srážky v roce 2013 v (mm) a v (%) - Středočeský kraj, (<http://portal.chmi.cz/portal>, 2013), upraveno

Vysvětlivky:

N – dlouhodobý srážkový normál 1961 - 1990 (mm). (viz tab. 11.)

S – úhrn srážek (mm)

P - úhrn srážek v % normálu 1961 – 1990 [%]



Graf 10 Úhrn územních srážek v roce 2013 v porovnání s dlouhodobým srážkovým normálem 1961 – 1990 v (mm) a v (%), dle tab. 13.

4. 3. 2 Průměrné sumy teplot a územní teploty 2012 a 2013 (°C)

Průměrné sumy teplot v roce 2012 jsou znázorněny v tabulce 14 a na grafu 11 za rok 2013 v tabulce 15 a grafu 12.

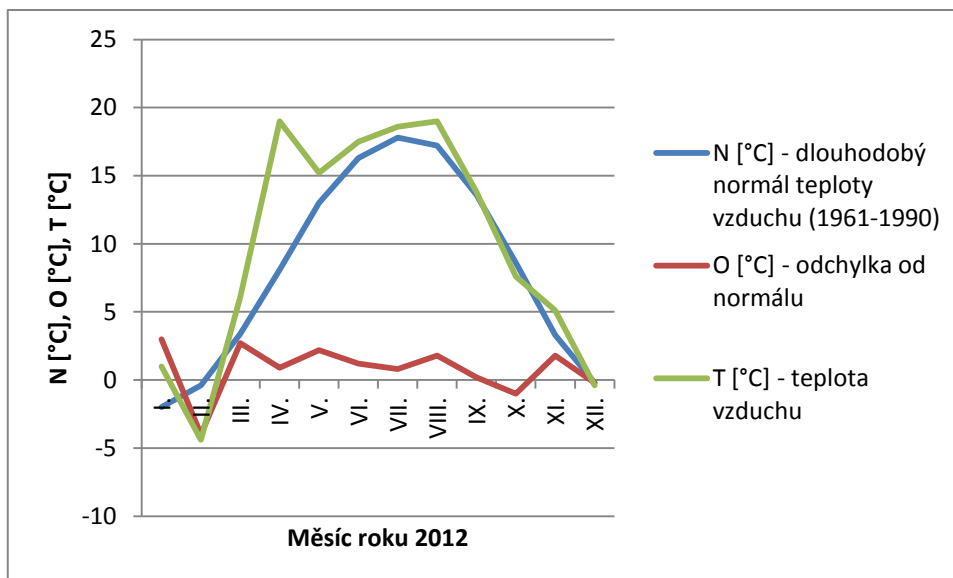
	Měsíc											
2012	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
N [°C]	-2	-0,4	3,4	8,1	13	16,3	17,8	17,2	13,6	8,6	3,3	-0,2
O [°C]	3	-4	2,7	0,9	2,2	1,2	0,8	1,8	0,2	-1	1,8	-0,2
T [°C]	1	-4,4	6,1	19	15,2	17,5	18,6	19	13,8	7,6	5,1	-0,4

Tab. 14 Měsíční Průměrné sumy teplot a územní teploty 2012 (°C) - Středočeský kraj, (<http://portal.chmi.cz/portal>, 2013), upraveno

T – teplota vzduchu (°C)

N – dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961 – 1990 (°C)

O – odchylka od normálu (°C)



Graf 11 Měsíční průměrné sumy teplot a územní teploty 2012 (°C), dle tab. 14

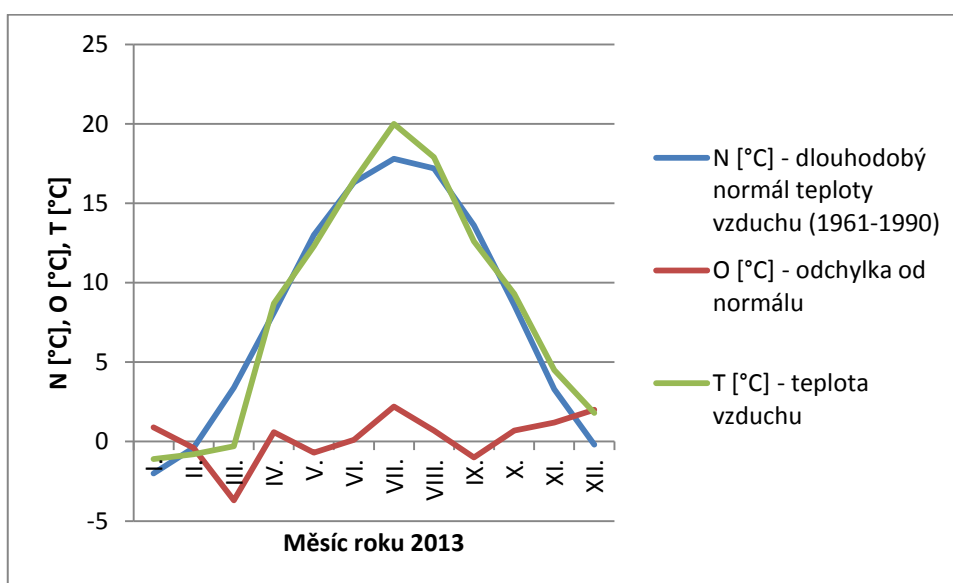
	Měsíc											
2013	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
N [°C]	-2	-0,4	3,4	8,1	13	16,3	17,8	17,2	13,6	8,6	3,3	-0,2
O [°C]	0,9	-0,4	-3,7	0,6	-0,7	0,1	2,2	0,7	-1	0,7	1,2	2
T [°C]	-1,1	-0,8	-0,3	8,7	12,3	16,4	20	17,9	12,6	9,3	4,5	1,8

Tab. 15 Měsíční průměrné sumy teplot a územní teploty 2013 (°C) - Středočeský kraj, (<http://portal.chmi.cz/portal>, 2013), upraveno

T – teplota vzduchu (°C)

N – dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961 – 1990 (°C)

O – odchylka od normálu (°C)

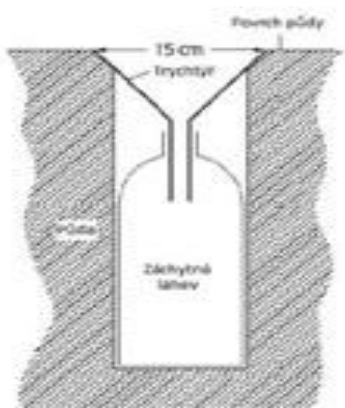


Graf 12 Měsíční průměrné sumy teplot a územní teploty 2013 (°C), dle tab. 15.

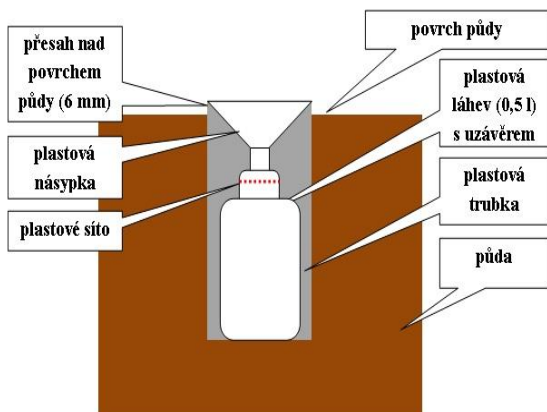
4. 4 Kapková eroze (splash)

4. 4. 1 Metody měření kapkové eroze

Metoda stanovení hodnot kapkové eroze podle Bollinne (1975) je na obrázku 9. Na obrázku 10 je upravené praktické provedení metody pro měření kapkové eroze.



Obrázek 9: Metody měření kapkové eroze – záchytný trychtýř dle Bollinne (1975), upraveno



Obr. 10: Schéma umístění lahve s trychtýřem pro stanovení kapkové eroze v půdě

4. 4. 2 Postup a forma měření kapkové eroze

Pro stanovení hodnot kapkové eroze bylo využito upravené metody dle Bollinne (1975).

V letech 2012 - 2013 byly na hodnocených variantách měřeny hodnoty kapkové eroze. Jako záchytné trychtýře byly použity chemické násypky s horním průměrem 125 mm a s výpustí o spodním průměru 25 mm. Jako záchytné nádoby byly použity plastové láhve s uzávěrem a objemem 0,5 litrů. Do kruhového otvoru uzávěru láhve byla vlepena násypka. Mezi láhev a její uzávěr byla umístěna plastová síť s obdélníkovými oky 2 x 2 mm, která vytvořila sítko k zamezení padání hmyzu a drobných savců do láhve. Láhev s násypkou byla umístěna do plastové trubky (vnější průměr 125 mm, výška 260 mm) zapuštěné do půdy tak, aby i s hranou násypky vyčnívala 6 mm nad povrch půdy. Přesah nad povrchem půdy eliminoval případný vtok vody nacházející se na povrchu půdy (obrázek 13). Při odběru, následujícím většinou po srážce, byl odebrán vzorek, stěny výsypky a sítko omyty vodou a láhev byla vyměněna. Zachycená suspenze v láhvi byla přefiltrována přes filtr z filtračního papíru (KA1/185) a filtr byl vysušen při 95 °C (čas sušení 5 hod) a po odečtení hmotnosti filtru byly stanoveny hmotnost půdy zachycené v láhvi.

Tab. 16: Termíny odběrů zachycené zeminy v roce 2012 a v roce 2013

Pořadí odběru	Datum 2012	Datum 2013
1	2. 5. - 7. 5. 2012	15. 5. - 20. 5. 2013
2	7. 5. - 14. 5. 2012	20. 5. - 23. 5. 2013
3	14. 5. - 25. 5. 2012	23. 5. - 27. 5. 2013
4	25. 5. - 11. 6. 2012	27. 5. - 31. 5. 2013
5	11. 6. - 18. 6. 2012	31. 5. - 5. 6. 2013
6	18. 6. - 21. 6. 2012	5. 6. - 10. 6. 2013
7	21. 6. - 29. 6. 2012	10. 6. - 11. 6. 2013
8	29. 6. - 5. 7. 2012	11. 6. - 25. 6. 2013
9	5. 7. - 11. 7. 2012	25. 6. - 26. 6. 2013
10	11. 7. - 17. 7. 2012	26. 6. - 3. 7. 2013
11	17. 7. - 23. 7. 2012	26. 7. - 30. 7. 2013
12		30. 7. - 5. 8. 2013
13		5. 8. - 8. 8. 2013
14		8. 8. - 13. 8. 2013
15		13. 8. - 20. 8. 2013

Termíny odběrů vzorků zachycené zeminy v důsledku kapkové eroze jsou zaznamenány v tabulce 16.

4. 4. 3 Stanovení kapkové eroze

Stanovení kapkové eroze dle algoritmu Poesen a Torri (1988) přepočtené na reálné množství rozstříknuté zeminy na jednotku plochy.

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

MSR - množství rozstříknuté zeminy na jednotku plochy ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)

MS - zachycené množství rozstříknuté půdy na plochu trychtýře ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)

D - průměr záchytného trychtýře (cm) = 12,5 cm

$e^{0,054D}$ – (Eulerovo číslo $e = 2,718281828\dots$)

MSR představuje množství rozstříknuté zeminy na jednotku plochy ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$), MS naměřené množství *splash* na jednotku plochy ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) a *D* je průměr záchytného trychtýře (cm). Trychtýře byly vždy umístěny ve středu meziřádku nacházejícím se ve středu pokusné parcely. Termíny odběrů zachycené zeminy v hodnocených letech dokumentuje tabulka 16.

4. 5 Stabilita půdních agregátů (SAS - soil aggregate stability)

K určení stability půdy a náchylnosti (susceptibility) půdy k erozi byl použit přístroj Wet Sieving Apparatus (Ejkelkamp, NL) dle metodiky výrobce (obr. 11).



Obr. 11 Přístroj Wet Sieving Apparatus pro mokré prosívání ke zjištění stability agregátů.

Pro rozrušení stabilních agregátů bylo použito dávky 2 gramy hexametfosforečnanu sodného na 1 litr vody. Pro analýzu byla využita frakce půdy o velikosti 1 – 2 mm. Odběr vzorků a jejich zpracování bylo provedeno v souladu s normou DIN 19683. Odběry půdních vzorků byly provedeny 5. 4. 2012, 21. 8. 2012 a 13. 9. 2013.

4. 6 Postup zjištění pokryvnosti půdy vegetací a rostlinnými zbytky

Pokryvnost půdy byla stanovena pomocí analýzy obrazu. Snímky ploch půdy byly pořízeny fotoaparátem s infračerveným filtrem. Pro analýzu byla použita plocha o velikosti 0,25 m² ohraničená rámem položeným na povrch půdy před pořízením snímku. Na každé variantě bylo hodnoceno 5 snímků. Po oříznutí snímku podle hranice rámečku položeného při focení na povrchu půdy následovalo převedení infračervených snímků do černobílé fotografie (rostlinné zbytky a rostliny mají bílou barvu). Poté bylo na základě počtu pixelů bílé barvy z celkového počtu pixelů na fotografii stanoveno procento pokryvnosti. Úprava a analýza snímků byla provedena v programu Adobe® Photoshop®. Hodnocení pokryvnosti půdy vegetací a rostlinnými zbytky bylo provedeno v roce 2012 pouze na plochách s technologií strip till (5. 4. 2012). Na ostatních plochách nebyla přítomnost posklizňových zbytků stanovena. V roce 2013 byla pokryvnost půdy stanovena na všech hodnocených plochách v termínech 29. 4. 2013 a 13. 9. 2013.

4. 7 Statistické vyhodnocení

Pro stanovení rozdílných vlivů technologií zpracování půdy na sledované charakteristiky bylo využito statistické metody ANOVA (analýza jednoduchého třídění), hladina významnosti $\alpha = 0,05$, program Statgraphics®Plus, verze 4.1.

4. 8 Úhrn srážek, intenzita srážky

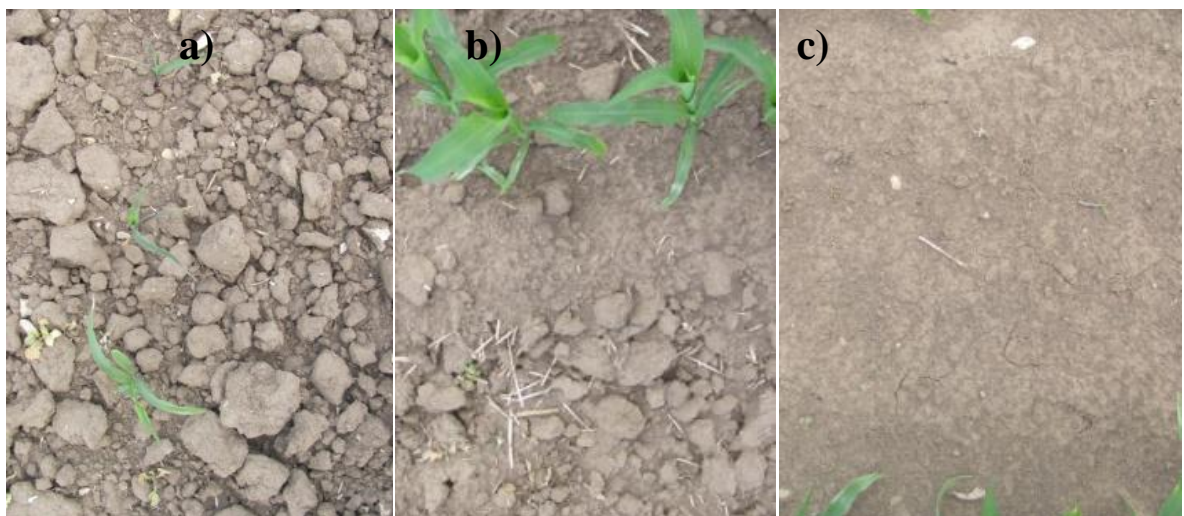
Hodnoty srážek byly měřeny automatickým srážkoměrem nad porostem kukuřice. Vypočtená suma srážek P_{obd} (mm) za meziobdobí, oddělené jednotlivými odběry kapkové eroze a intenzita jednotlivých srážkových událostí IP_{obd} (mm za 10 min) jsou zaznamenány v tabulce 27.

5 Výsledky

5.1 Kapková eroze (splash) 2012

Nejvyšší hodnoty kapkové eroze byly v měsíci červnu stanoveny na orané variantě (graf 13), průměrné hodnoty kapkové eroze byly na této variantě ve srovnání s ostatními plochami statisticky průkazně vyšší (tab. 17). Začátek vegetace se rovněž vyznačoval nízkými hodnotami kapkové eroze na kypřených plochách. Důvodem nižších hodnot byla hrubá struktura povrchu půdy v důsledku jarního zpracování půdy, které přispělo k výrazné tvorbě hrud.

Stav povrchu pozemku dne 29. 5. 2012 dokumentuje obrázek 12. Z obrázků je patrná vysoká hrudovitost a ostré hrany hrud způsobené jarním zpracováním vlhké a v důsledku aplikace kejdy utužené půdy na plochách s plošným kypřením. Tyto kompaktní hroudy, které se vyskytovaly v celém zpracovaném povrchu půdy (hloubka kypření na jaře se pohybovala v rozmezí mezi 100 – 150 mm), negativně ovlivnily vztlínání vody k osivu a následně zásobování rostlin vodou na začátku vegetace. Hroudy však přispěly k eliminaci rizika vzniku kapkové eroze (tab. 17), jako primárního faktoru ovlivňujícího erozní procesy na pozemku. Na plochách s technologií strip tillage byly méně kompaktní hroudy přítomny v meziřádku, kde přispívaly k eliminaci eroze. Na oraných variantách došlo rychle k rozpadu půdní struktury, důsledek jarní předseťové přípravy a nepřítomnosti větších agregátů či posklizňových zbytků na povrchu půdy, což přispělo k výrazné kapkové erozi na těchto plochách (tab. 17).

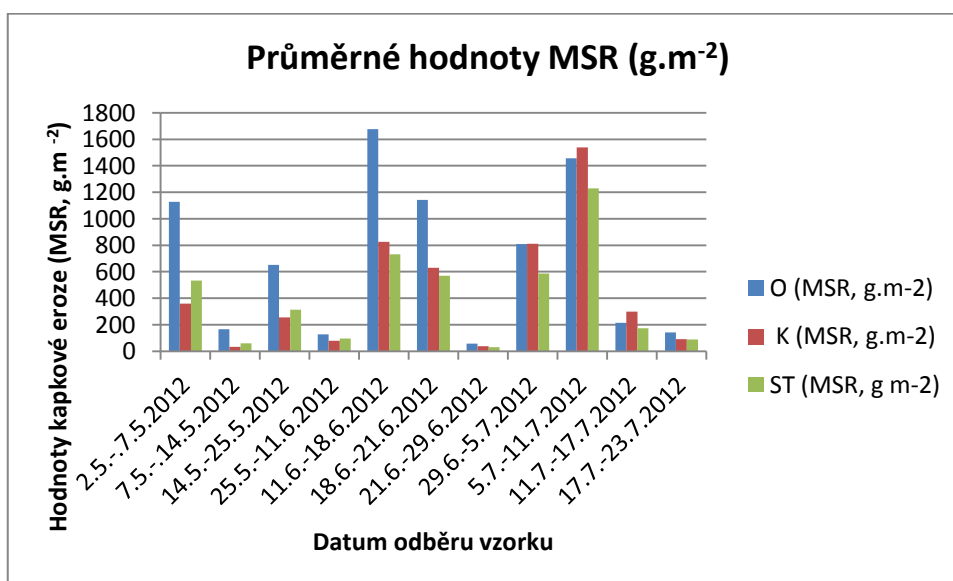


Obr. 12: Stav povrchu půdy na hodnocených variantách 29. 5. 2012 – a) plošné kypření, b) strip tillage a c) orba.

Tab. 17: Průměrné hodnoty kapkové eroze (MSR, g m⁻²) na plochách s orbou, kypřením a s technologií strip tillage dne v obdobích od 2. 5. – 23. 7. 2012 (odlišné indexy mezi průměry v rámci sloupců dokumentují statisticky průkaznou diferenci na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ (ANOVA).

Datum odběru 2012	O (MSR, g.m ⁻²)	K (MSR, g.m ⁻²)	ST (MSR, g m ⁻²)
2.5.-7.5.2012	1127,9b	359,0a	533,4a
7.5.-14.5.2012	166,4b	32,5a	59,7a
14.5.-25.5.2012	652,1b	256,6a	313,5a
25.5.-11.6.2012	127,1b	79,1a	95,8ba
11.6.-18.6.2012	1677,0b	826,5a	730,6a
18.6.-21.6.2012	1142,9b	630,1a	569,9a
21.6.-29.6.2012	57,3a	37,9a	30,6a
29.6.-5.7.2012	809,0a	811,5a	587,2a
5.7.-11.7.2012	1455,8a	1538,3a	1229,0a
11.7.-17.7.2012	215,0a	298,7a	173,8a
17.7.-23.7.2012	142,4a	90,2a	88,6a

O – orba, K - kypření, ST – strip tillage



Graf 13. Průměrné hodnoty MSR (g.m⁻²) na plochách s orbou, kypřením a s technologií strip tillage – rok 2012.

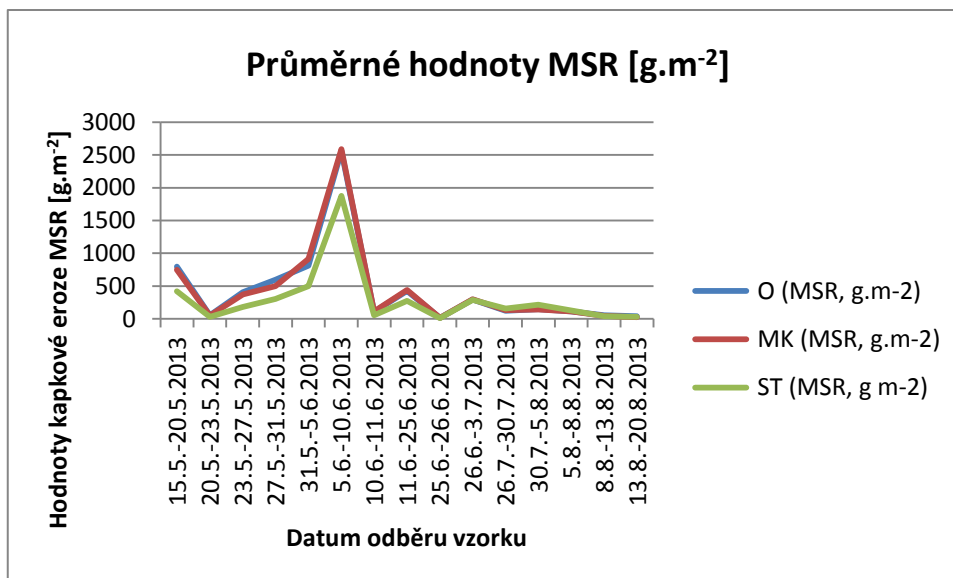
5. 2 Kapková eroze (splash) 2013

Nejnižší hodnoty kapkové eroze od začátku vegetace do začátku července byly stanoveny na plochách s technologií strip tillage. Ve většině případů (graf 14, tab. 18) byly hodnoty kapkové eroze na plochách se strip tillage statisticky průkazně nižší než na orbě a mělkém kypření. Jednoznačným důvodem nižších hodnot MSR byla vyšší přítomnost posklizňových zbytků na povrchu půdy a drsnost povrchu pozemku - hrubá struktura povrchu půdy.

Datum odběru 2013	O (MSR, g.m ⁻²)	MK (MSR, g.m ⁻²)	ST (MSR, g m ⁻²)
15.5.-20.5.2013	797,6b	745,8b	420,7a
20.5.-23.5.2013	56,2b	50,7b	28,8a
23.5.-27.5.2013	405,3b	371,4b	182,2a
27.5.-31.5.2013	598,9b	500,8b	303,9a
31.5.-5.6.2013	810,8b	914,0b	498,4a
5.6.-10.6.2013	2557,6b	2587,9b	1876,1a
10.6.-11.6.2013	107,7b	113,2b	56,8a
11.6.-25.6.2013	424,7b	440,3b	275,8a
25.6.-26.6.2013	17,0a	13,8a	12,6a
26.6.-3.7.2013	292,7a	297,2a	287,5a
26.7.-30.7.2013	121,1a	132,2a	156,2a
30.7.-5.8.2013	146,7a	144,2a	213,9b
5.8.-8.8.2013	114,579a	114,771a	127,926a
8.8.-13.8.2013	52,6a	46,8a	38,0a
13.8.-20.8.2013	40,9b	24,9a	32,6ab

O – orba, MK - mělké kypření, ST – strip tillage na strništi ječmene – nehnojeno

Tab. 18: Hodnoty kapkové eroze (MSR, g m⁻²) na plochách s provedením technologie strip tillage do strniště ječmene (ST, hnojeno při pásovém kypření), na plochách s mělkým kypřením půdy (MK) a na plochách s orbou (O) vyjádřené jako množství rozstříknuté půdy na jednotku plochy (MSR, g/m²) za období 15. 5. 2013 – 20. 8. 2013.



Graf 14. Průměrné hodnoty MSR (g.m⁻²) – rok 2013

5. 3 Stabilita půdních agregátů 2012

Statisticky průkazně vyšší hodnoty stability půdních agregátů byly stanoveny na orané variantě (tab. 19). Důvodem vyšší hodnoty SAS je skutečnost, že v termínu odběru vzorků půdy na urovnaném pozemku již bylo provedeno urovňání povrchu pozemku, tj. horní vrstva půdy byla promíšena s vrstvou spodní, kde lze očekávat stabilnější agregáty. Na kypřené ploše byla samozřejmě hodnocena horní vrstva půdy, půda byla urovňána na podzim, která byla degradována povětrnostními podmínkami přes zimu. Problematické je vysvětlení výsledků z konce vegetace, kdy nejvyšší hodnoty SAS byly stanoveny na plochách s orbou (tab. 20), protože hodnoty kapkové eroze byly na těchto plochách nejvyšší (tab. 17).

Tab. 19: Průměrné hodnoty stability půdních agregátů (SAS, podíl stabilních agregátů z celkového počtu agregátů) na plochách oraných a kypřených (plocha pro strip tillage) dne 5. 4. 2012. Odlišné indexy u průměrů dokumentují statisticky průkazné rozdíly mezi průměry (hladina významnosti $\alpha = 0,05$).

Varianta	SAS (podíl)
O	0.48b
ST	0.41a

Tab. 20: Průměrné hodnoty a stability půdních agregátů (SAS, podíl stabilních agregátů z celkového počtu agregátů) na plochách oraných, kypřených a na strip tillage dne

21. 8. 2012. Odlišné indexy u průměrů dokumentují statisticky průkazné rozdíly mezi průměry (hladina významnosti $\alpha = 0,05$).

Varianta	SAS (podíl)
O	0.49b
K	0.42a
ST	0.44a

5. 4 Stabilita půdních agregátů 2013

Na konci vegetace byly statisticky průkazně vyšší hodnoty SAS stanoveny na plochách s mělkým kypřením (tab. 21). Důvodem nižší hodnoty SAS na plochách ST bylo jednoznačně pokrytí povrchu půdy zeminou pocházející z kypřeného řádku při provedení kypření na podzim.

Tab. 21: Průměrné hodnoty stability půdních agregátů (SAS, podíl stabilních agregátů z celkového počtu agregátů) na plochách oraných (O) a kypřených (MK) a na plochách se strip tillage (ST) dne 13. 9. 2013. Odlišné indexy u průměrů dokumentují statisticky průkazné rozdíly mezi průměry (hladina významnosti $\alpha = 0,05$).

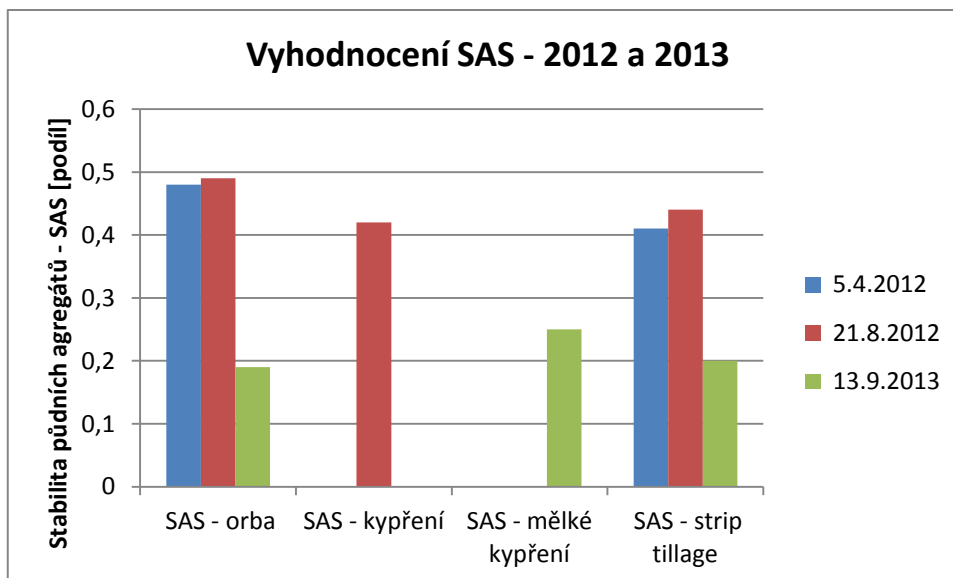
Varianta	SAS (podíl)
MK	0.25b
O	0.19a
ST	0.20a

5. 5 Stabilita půdních agregátů – vyhodnocení

Odběry půdních vzorků byly provedeny 5. 4. 2012, 21. 8. 2012 a 13. 9. 2013.

Tab. 22 : Vyhodnocení SAS z odebraných půdních vzorků rok 2012 a 2013

Varianta	Datum odběru 5.4.2012	Datum odběru 21.8.2012	Datum odběru 13.9.2013
O (podíl)	0,48b	0,49b	0,19a
K (podíl)	nebyl proveden	0,42a	nebyl proveden
MK (podíl)	nebyl proveden	nebyl proveden	0,25b
ST (podíl)	0,41a	0,44a	0,20a



Graf 15. Vyhodnocení stability půdních agregátů (SAS) – rok 2012 - 2013

5. 6 Pokryvnost půdy vegetací a rostlinnými zbytky 2012

Pokryvnost půdy v roce 2012 činila na variantě se strip tillage (5. 4. 2012) v průměru 8,5 %.

5. 7 Pokryvnost půdy vegetací a rostlinnými zbytky 2013

Na základě měření pokryvnosti půdy po vysetí kukuřice byla nejvyšší průměrná hodnota pokryvnosti půdy stanovena v meziřádku na ST (tab. 23). Přestože se jednalo o provedení ST do strniště ječmene, došlo z důvodu nastavení hlubšího zahloubení kypřících disků k rozhozu půdy z řádku do meziřádku, to výrazně snížilo pokryv půdy rostlinnými zbytky. Při podzimním hodnocení byla nejvyšší průměrná pokryvnost stanovena na plochách se strip tillage. Nejnižší naopak na orbě (tab. 24). Nárůst hodnot pokryvnosti na ST ve srovnání s jarními hodnotami byl pravděpodobně způsoben smyvem půdy z meziřádku.

Tab. 23 Hodnoty pokryvnosti půdy posklizňovými zbytky (%) na variantách s orbou (O), mělkým kypřením (MK) a na strip tillage do strniště ječmene (ST) dne 29. 4. 2013.

Varianta	Pokryvnosti půdy (%)
MK	7,6b
O	3,1a
ST	9,9b

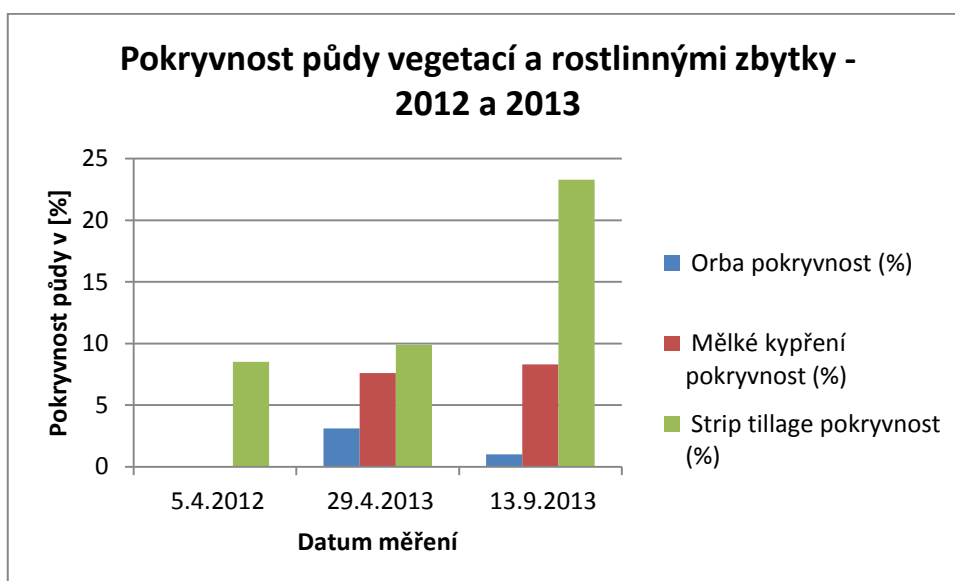
Tab. 24: Hodnoty pokryvnosti půdy posklizňovými zbytky (%) na variantách s orbou (O), mělkým kypřením (MK) a na strip till do strniště ječmene (ST) dne 13. 9. 2013.

Varianta	Pokryvnosti půdy (%)
MK	8,3a
O	1,0b
ST	23,3c

5. 8 Pokryvnost půdy vegetací a rostlinnými zbytky – vyhodnocení

Tab. 25: Vyhodnocení pokryvnosti půdy vegetací a rostlinnými zbytky v roce 2012 a 2013

Varianta	Datum měření 5.4.2012	Datum měření 29.4.2013	Datum měření 13.9.2013
O pokryvnost (%)	nebylo měřeno	3,1	1
MK pokryvnost (%)	nebylo měřeno	7,6	8,3
ST pokryvnost (%)	8,5	9,9	23,3



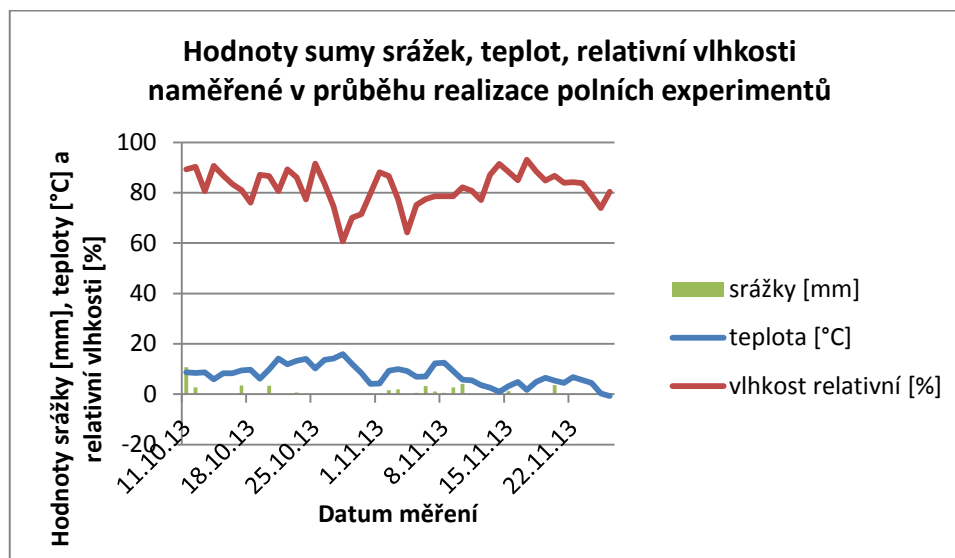
Graf 16 Pokryvnost půdy vegetací a rostlinnými zbytky – rok 2012 - 2013

Nejmenší procento pokryvnosti bylo naměřeno u varianty technologie orby, největší procento pokryvnosti u varianty strip tillage (tab. 25, graf 16).

5. 9 Úhrn srážek a intenzita srážky

Hodnoty sumy srážek a teplot včetně relativní vlhkosti naměřené v průběhu realizace polních experimentů jsou znázorněny na grafu č. 17.

Graf č. 17 Hodnoty srážky [mm], teploty [°C] a relativní vlhkosti [%] v průběhu vegetačního období



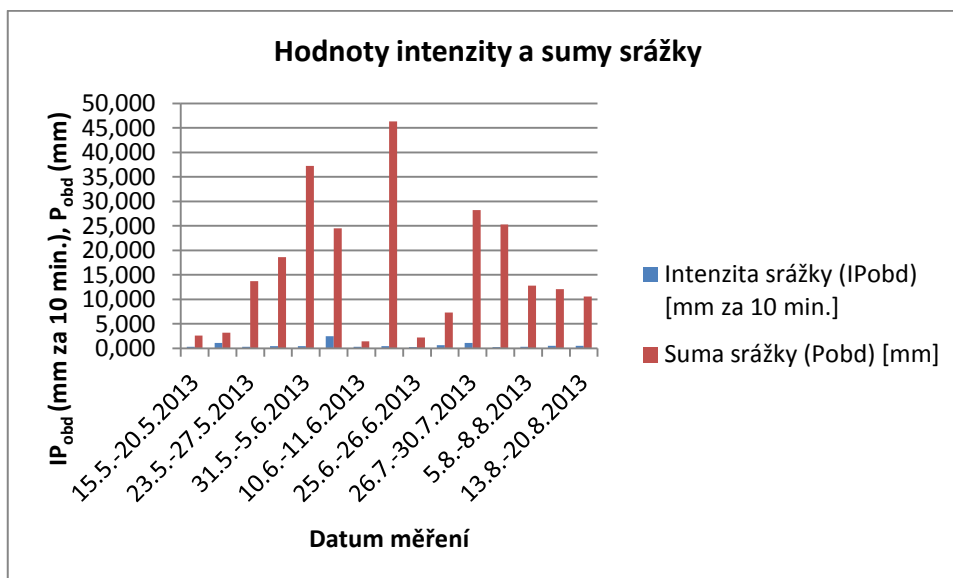
Hodnoty srážek byly převzaty z měření na pokusných plochách uskutečněných v termínech dle tabulky 18. Z takto získaných hodnot byly vypočteny sumy srážky P_{obd} (mm) za období charakterizované jednotlivými odběry kapkové eroze. Dále byly vypočteny intenzity jednotlivých srážkových událostí v těchto obdobích IP_{obd} (mm za 10 min.)

Úhrn srážek a intenzita srážky jsou zaznamenány v tabulce 26 a v grafu č. 17.

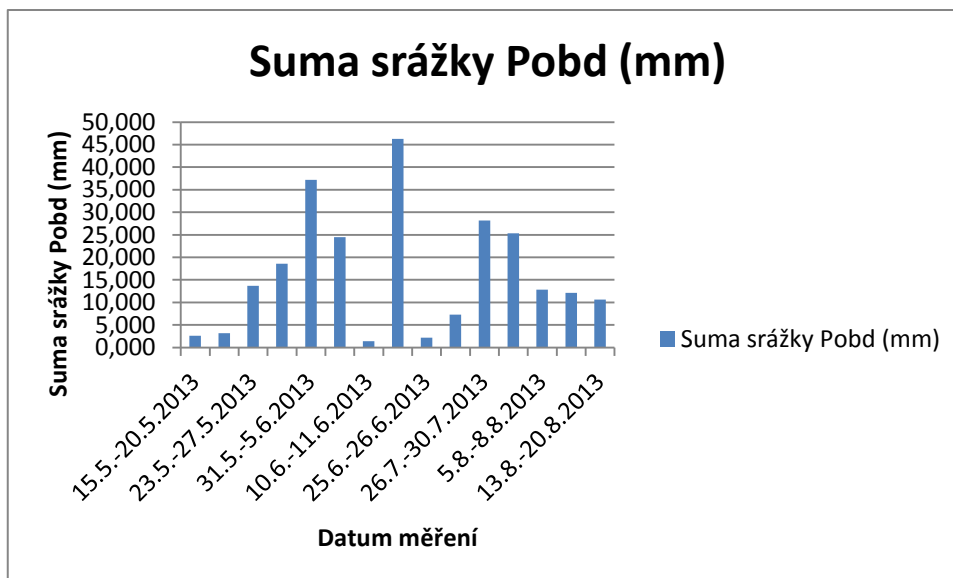
Největší množství (suma) srážky je v tabulce 26 vidět v období mezi odběry vzorků z 11. 6 až 25.6 2013. Intenzita srážky byla během experimentu nejvyšší v průběhu období mezi odběry vzorků z 5.6 až 10.6 2013. Také nejvyšší hodnota kapkové eroze byla v období z 5.6 až 10.6 2013. Z těchto dat vyplývá, že hodnoty kapkové eroze MSR nejvíce ovlivňuje intenzita srážky, minimálně až zanedbatelně hodnoty kapkové eroze MSR ovlivňuje suma srážek.

Tabulka 26 Hodnoty Intenzity jednotlivých srážkových událostí a sumy srážky v průběhu odběrů vzorků kapkové eroze

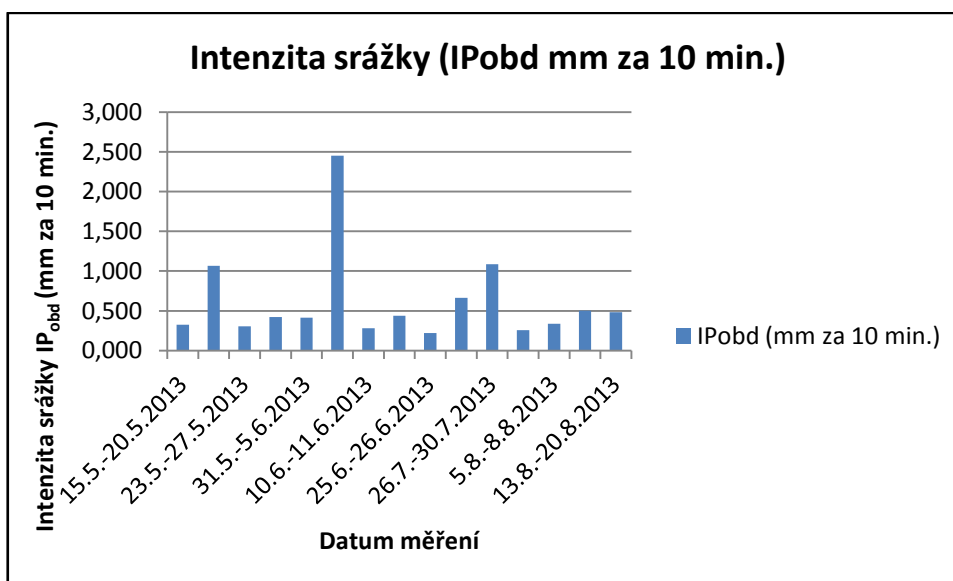
Datum odběru 2013	IP _{obd} (mm za 10 min.)	P _{obd} (mm)
15.5.-20.5.2013	0,325	2,600
20.5.-23.5.2013	1,067	3,200
23.5.-27.5.2013	0,304	13,700
27.5.-31.5.2013	0,423	18,600
31.5.-5.6.2013	0,413	37,200
5.6.-10.6.2013	2,450	24,500
10.6.-11.6.2013	0,280	1,400
11.6.-25.6.2013	0,437	46,300
25.6.-26.6.2013	0,220	2,200
26.6.-3.7.2013	0,664	7,300
26.7.-30.7.2013	1,085	28,200
30.7.-5.8.2013	0,256	25,300
5.8.-8.8.2013	0,337	12,800
8.8.-13.8.2013	0,504	12,100
13.8.-20.8.2013	0,482	10,600



Graf č. 18 Hodnoty Intenzity jednotlivých srážkových událostí a sumy srážky v průběhu odběrů vzorků kapkové eroze



Graf č. 19 Hodnoty sumy srážky y jednotlivých srážkových událostí v průběhu odběrů vzorků kapkové eroze



Graf č. 20 Hodnoty Intenzity jednotlivých srážkových událostí v průběhu odběrů vzorků kapkové eroze

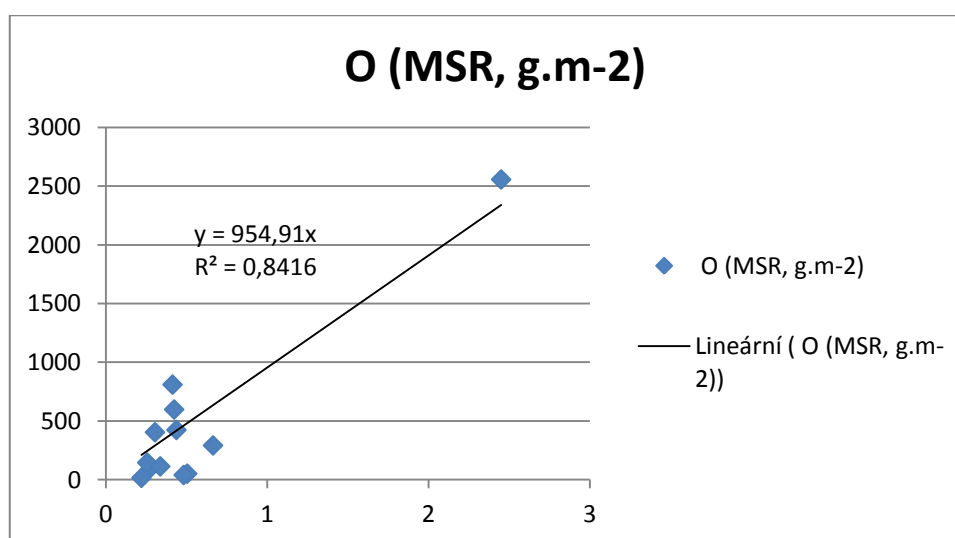
5. 10 Statistické vyhodnocení

Pro stanovení rozdílných vlivů technologií zpracování půdy na sledované charakteristiky bylo využito statistické metody ANOVA (analýza jednoduchého třídění), hladina významnosti $\alpha = 0,05$, program Statgraphics[®]Plus, verze 4.1.

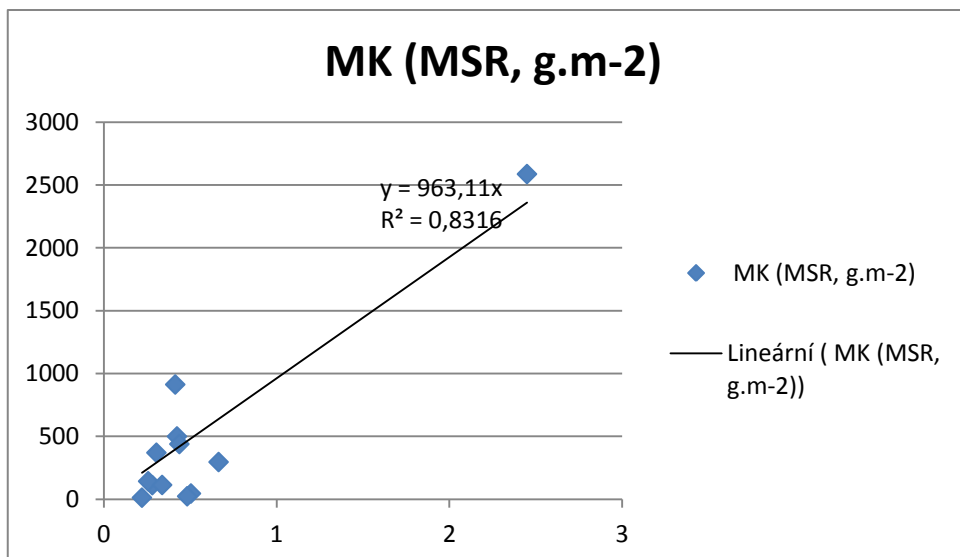
Pro vyhodnocení závislosti MSR na sumě a intenzitě srážek za vegetační období 23. 5. 2013 až 20. 8. 2013. a na použité technologii poslouží upravená tabulka č. 27.

Tabulka č. 27. Hodnoty závislosti MSR na sumě a intenzitě srážek a vlivu technologie zpracování půdy

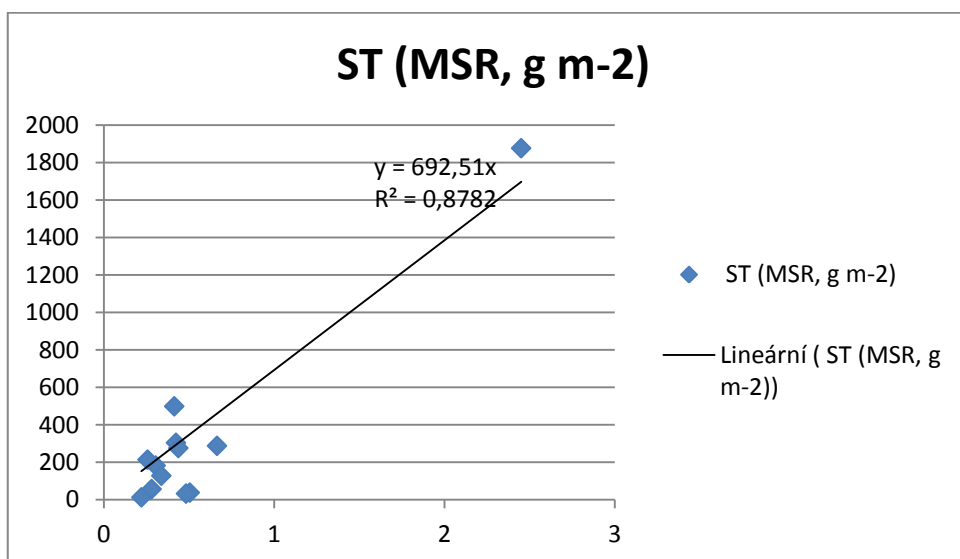
Datum odběru 2013	Suma (mm)	Intenzita (mm.10min-1)	O (MSR, g.m ⁻²)	MK (MSR, g.m ⁻²)	ST (MSR, g m ⁻²)
15.5.-20.5.2013			797,6	745,8	420,7
20.5.-23.5.2013			56,2	50,7	28,8
23.5.-27.5.2013	13,7	0,304	405,3	371,4	182,2
27.5.-31.5.2013	18,6	0,423	598,9	500,8	303,9
31.5.-5.6.2013	37,2	0,413	810,8	914	498,4
5.6.-10.6.2013		2,45	2557,6	2587,9	1876,1
10.6.-11.6.2013	1,4	0,28	107,7	113,2	56,8
11.6.-25.6.2013	46,3	0,437	424,7	440,3	275,8
25.6.-26.6.2013	2,2	0,22	17	13,8	12,6
26.6.-3.7.2013	7,3	0,664	292,7	297,2	287,5
26.7.-30.7.2013			121,1	132,2	156,2
30.7.-5.8.2013	25,3	0,256	146,7	144,2	213,9
5.8.-8.8.2013	12,8	0,337	114,579	114,771	127,926
8.8.-13.8.2013	12,1	0,504	52,6	46,8	38
13.8.-20.8.2013	10,6	0,482	40,9	24,9	32,6



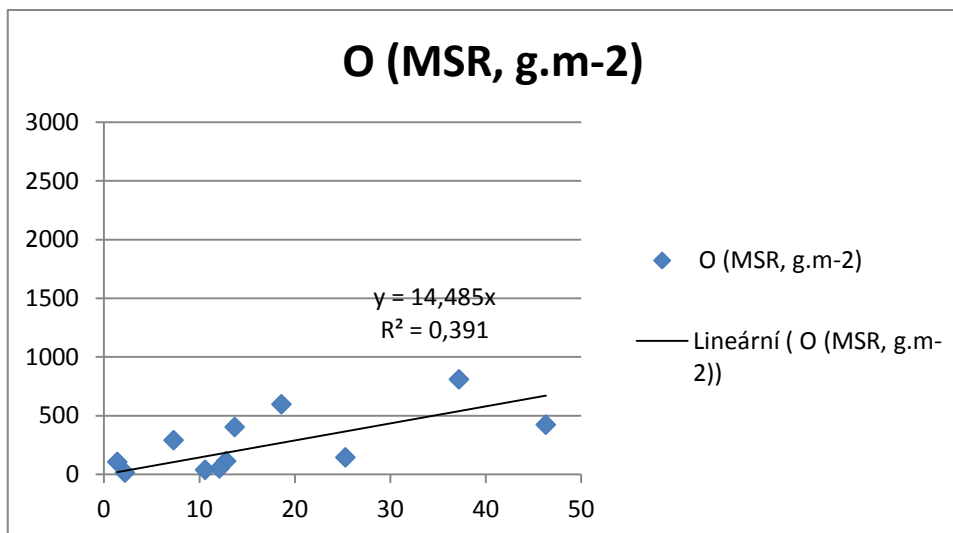
Graf č 21 Závislost kapkové eroze (MSR) na intenzitě srážek a zpracování půdy orbou



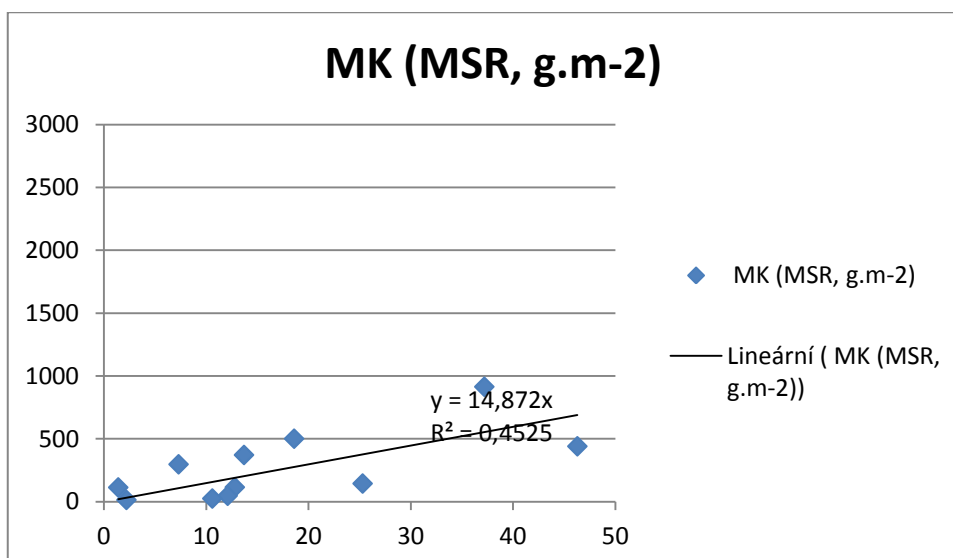
Graf č. 22 Závislost kapkové eroze (MSR) na intenzitě srážek a zpracování půdy mělkým kypřením



Graf č. 23 Závislost kapkové eroze (MSR) na intenzitě srážek a zpracování půdy strip tillage



Graf č. 24 Závislost kapkové eroze (MSR) na sumě srážek a zpracování půdy orbou



Graf č. 25 Závislost kapkové eroze (MSR) na sumě srážek a zpracování půdy mělkým kypřením

Grafy 21 až 25 znázorňují závislost MSR na sumě a intenzitě srážek a na vlivu technologie zpracování půdy.

Z těchto dat vyplývá hodnocení závislosti MSR na sumě a intenzitě srážek za období (P_{obd} , IP_{obd}) a na použité technologii. Hodnoty MSR byly nejvíce ovlivňovány intenzitou srážky za vegetační období (IP_{obd}) MSR, méně pak sumou srážky za toto období (P_{obd}).

6 Diskuse

Na základě výsledků provedených polních experimentů pro ověření vlivu zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze v porostech kukuřice seté byla hypotéza o rozdílném vlivu technologií zpracování půdy jednoznačně potvrzena. Na pokusných plochách s technologií zpracování půdy strip tillage (ST) byly stanoveny nejnižší hodnoty kapkové eroze. V obou variantách pokusů v roce 2012 i 2013 byly hodnoty kapkové eroze (splash) u aplikace technologie strip tillage (ST) nejnižší ze všech použitých zpracování půdy. Tyto výsledky jsou ve shodě s obecně popisovaným protierozním účinkem technologie strip tillage (např. Morgan, 2005). Pozitivní vliv technologie pásového zpracování půdy na snížení hodnot kapkové eroze ve srovnání s použitím technologie orby a mělkým kypřením popisuje Brant a kol. (2013).

V provedených pokusech byl též potvrzen vliv technologie zpracování půdy na hodnoty kapkové eroze v souvislosti s pokryvem povrchu půdy při zpracování strip tillage (ST). Faktorem pozitivně ovlivňujícím snížení rozstříku půdy deštěm je vyšší přítomnost posklizňových zbytků na povrchu půdy. Pokryvnost půdy byla hodnocena ve třech termínech s výslednou nejvyšší hodnotou u varianty strip tillage (ST). V pokusech byla potvrzena vyšší přítomnost posklizňových zbytků na povrchu půdy u technologie pásového zpracování půdy ve srovnání s ostatními hodnocenými technologiemi (tabulka 25, graf 16). Nárůst pokryvnosti půdy na plochách s technologií strip tillage při podzimním měření (tabulka 24) ve srovnání s jarním měřením (tabulka 23) je možné vysvětlit smyvem zeminy nahrnuté do meziřádku při kypření na podzim. Pozitivní vliv posklizňových zbytků na snížení hodnot kapkové eroze popisuje Hůla a kol. (2008).

Se zvyšujícím pokrytím půdy se snižuje kapková eroze a zpomaluje se povrchový odtok. Pokryvnost na podzim 2013 na variantě zpracování půdy strip tillage dosáhla 23,3 % (tabulka 24). Jako dostatečnou ochranu půdy 30% pokrytím považuje Schachtschabel et. al. (1998).

Při hodnocení teploty půdy nebyly stanoveny výrazné rozdíly mezi sledovanými variantami. Toto zjištění není zcela ve shodě se zahraničními literárními zdroji (např. Randall et Hill, 2000). Možným vysvětlením je, že pokusy probíhaly na plochách zpracovávaných dlouhodobě orbou a půdní podmínky odpovídaly spíše pravidelně zpracovávané půdě. Výrazný vliv pásového kypření na ohřev půdy v místě kypřeného pásu ve srovnání s orbou, nebo příležitostně provedeným mělkým kypřením na oraných plochách, nelze z tohoto důvodu očekávat. Jak uvádí Brant a kol. (2013) rozdíly v teplotě půdy v nakypřeném řádku

při strip tillage nemohou být ve srovnání s orbou tak výrazné, jako jsou uváděné teplotní rozdíly mezi teplotou půdy na strip tillage a na plochách s dlouhodobě uplatňovaným setím do nezpracované půdy nebo mělkým kypřením. Na základě výše uvedeného tvrzení nebyla potvrzena hypotéza o rozdílném vlivu hodnocených technologií na teploty půdy v půdním profilu.

Z výsledků dokumentujících vliv technologie na dostupnost vody v půdě je zřejmé, že v důsledku nakypření půdy docházelo k rychlejšímu poklesu hodnot vodního potenciálu na plochách s orbou a v řádku kukuřice na plochách s technologií strip tillage ve srovnání s technologií mělkého kypření. Podobné výsledky popisuje Brant a kol. (2013). Rychlejší nárůst hodnoty vodního potenciálu půdy v kypřeném řádku na technologii strip tillage ve srovnání s ostatními hodnotami stanovenými v meziřádku rostlin, lze pravděpodobně vysvětlit schopností rostlin kukuřice stahovat si vody ke stéblu. Na schopnost rostlin kukuřice stahovat srážkovou vodu ke stéblu a následně ke kořenům poukazují např. Brant a kol. (2013), Gernerlová a kol. (2012).

Z vyhodnocení stability půdních agregátů (SAS) z odebraných půdních vzorků (tabulka 22) vychází ustálená hodnota půdních agregátů na variantě zpracování půdy strip tillage (ST). Půda zpracovaná technologií strip tillage byla v zimním období chráněna před povětrnostními vlivy rostlinným pokryvem meziplodiny proti kapkové erozi. Na pozitivní vliv výsevem meziplodin poukazují Hůla a Procházková (2008).

Z hodnot sumy a intenzity srážek v souvislosti s MSR kapkovou erozí vyplývá, že hodnoty kapkové eroze MSR nejvíce ovlivňuje intenzita srážky, minimálně až zanedbatelně hodnoty kapkové eroze MSR ovlivňuje suma srážek (tabulka 27).

V jarním vegetačním období je zřetelný vliv intenzity srážky IP_{obd} proto, že v tomto období ještě porost nedostatečně pokrývá půdu. Účinek srážky není upraven porostem a dopadající kapky mají přímý vliv na půdu. V podzimním vegetačním období je již patrný vliv struktury porostu kukuřice, a proto dochází k modifikaci srážky porostem, jak poukazuje Brant, a kol. (2013).

7 Závěr

Technologie pásového zpracování půdy přispívá významně k eliminaci kapkové eroze. S narůstající intenzitou a sumou srážky rostou hodnoty kapkové eroze.

Nárůst hodnoty pokryvnosti půdy vegetací a posklizňovými zbytky vede k poklesu hodnot kapkové eroze a ke zvýšení stability půdních agregátů

8 Zkratky

ABAG - Allgemeinen Bodenabtragsgleichung - modifikace rovnice ztráty půdy pro Německo

ARC/INFO - verze pro počítače typu PC-kompatibilní zvaná PC ARC/INFO, je v České republice jedním z nejrozšířenějších systémů GIS

CC - Cross Compliance (kontrola podmíněnosti dotací EU)

CRM - Crop Residue Management - Národní a regionální průzkum technologie řízení zbytků plodin USA

CTIC - Conservation Technology Information Center - Informační centrum ochranných technologií USA

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

EUROSEM - European Soil Erosion Model - Evropský model půdní eroze (procesně podložený model pro předpovídání vodní eroze půdy pro pole a malá povodí)

ft délky – 30,48 cm délky – (stopa - anglicky foot)

GAEC 1, GAEC 2 - Good Agricultural and Environmental Condition - zásady správné zemědělské a environmentální praxe

GIS - Geographic information system - Geografický informační systém

HP nebo hp – horsepower – koňská síla, stará fyzikální jednotka výkonu

IRF - Irrigation Research Foundation - Zavlažovací výzkumná nadace

KBÚK - Katedra biotechnických úprav krajiny

LAI - Leaf area index – index listové plochy, tj. pokryvnost listoví

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

NSTL - National Soil Tilth Laboratory - Národní laboratoř zpracování půdy

PEO - protierozní opatření

RT - contour ridge tillage - vrstevnicové půdní překážky tvořené hřebenovým zpracováním půdy v otevřeném prostoru

SAS - stabilita půdních agregátů (soil aggregate stability)

SMT - soil movement tracers – stopové pohyblivé půdní látky

SWCD - Soil and Water Conservation District (Oblastní agentura meliorace a ochrany půdy)

USDA - Soil Management and Conservation - Americké ministerstvo zemědělství

USLE - Universal Soil Loss Equation - Universální rovnice ztráty půdy

WEPP - Water Erosion Prediction Project - deterministický model - byl vyvinut v rámci amerického ministerstva zemědělství - vytvořený pro lepší znázornění erozních procesů vztahy blízkými k základní fyzice

9 Seznam literatury

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

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, © 2008 by Catena Verlag, 35447, UK, ISBN 978-3-923381-56-2.

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

Brant, V., Zábranský, P., Pivec, J., Gernerlová, M., Kroulík, J., 2013, Distribuce srážek v porostech kukuřice seté, Česká zemědělská univerzita v Praze, Agromanuál, roč. 8, č. 5, s. 87-89. ISSN: 1801-7673.

ČHMÚ, 2007, realizační tým: Míková T., Valeriánová A., Voženílek V., kartografické zpracování Voženílek V., geoinformatické zpracování Stříž M., Voženílek V., Směnský R., autorský kolektiv: Tolasz R., Brázdil R., Bulíř O., Dobrovolný P., Dobrovodský M., Hájková L., Halášová O., Hostýnek J., Janouch M., Kohút M., Krška K., Křivancová S., Květoň V., Lepka Z., Macková J., Metelka L., Míková T., Mrkvica Z., Možný M., Nekovář J., Němec L., Pokorný J., Reitschläger J. D., Richterová D., Rožnovský J., Řepka M., Semerádová D., Sosna V., Stříž M., Šercl P., Škáchová H., Štěpánek P., Štěpánková P., Trnka M., Valeriánová A., Valter J., Vaníček K., Vavruška F., Voženílek V., Vráblík T., Vysoudil M., Zahradníček J., Zusková I., Žák M., Žalud Z., 2007, Atlas podnebí Česka, Climate atlas of Czechia, vydal ČHMÚ, tisk ing. Viktor Hořín – Epava, s. 251, ISBN 978-80-86690-26-1.

DIN 19683-16, 1998, Bodenbeschaffenheit - Physikalische Laboruntersuchungen - Teil 16: Bestimmung der Aggregatstabilität nach dem Siebtauchverfahren. Deutsches Institut für Normung e. V.

Gernerlová, M., Brant, V., Zábranský, P., Pivec, J., Kroulík, M., Škeříková, M. 2012. Eliminace kapkové eroze v porostech kukuřice seté. Aktuální témata v pícninářství a trávníkářství 2012, Česká zemědělská univerzita v Praze. 99 s.

Hůla, J., Procházková, B., Badalíková, B., Dovrtěl, J., Dryšlová, T., Hartman, I., Hrubý, J., Hrudová, E., Javůrek, M., Kasal, P., Klem, K., Kovaříček, K., Kroulík, M., Kumhála, F., Mašek, J., Neudert, L., Růžek, P., Smutný, V., Váňová, M., Winkler, J., 2008, Minimalizace zpracování půdy, Profi Press s.r.o. Drtinova 8 Praha 5. s. 248. ISBN 978-80-86726-28-1.

Janeček, M., Bohuslávek, 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 nakl., Zelená 17, Praha 6, s. 201 ISBN-85866-85-8.

Kinnel, P. I. A. 1991, The effect of flow depth on sediment transport induced by raindrops impacting shallow flows. Transactions of the American society of agricultural engineers, vol. 34 (1), p. 161 – 168

Kinnell, P. I. A., 2005, Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: a review, Received 17 December 2003, Copyright © 2005 John Wiley & Sons, Ltd. Accepted 19 July 2004, Hydrological processes, 19, p. 2815 – 2844.

Kovář, P., Kubátová, E., 2004, Zhodnocení vlivu eroze a možnosti protierozní ochrany, Výzkumný záměr CEZ J 03/98: 4141 0000 8, KBÚK Fakulta lesnická a environmentální ČZU v Praze.

Kvěch O., Baláš, J., Kos, M., Křišťan, F., Skala, J., Strnad, P., Šimon, J., Vrkoč, F., 1985, Osevní postupy, Státní zemědělské nakladatelství Praha, publikace č. 3837, 07-068-85, 04/11.

Lal, R. 1975, No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. Soil science society of America journal, vol. 40 (5), p. 762 – 768

Lal, R. 1994, Soil erosion: Research methods. St. Lucie Press, 340 p. ISBN 1884015093 in: Stroosnijder, L. 2005. Measurement of erosion: Is it possible? Catena, vol. 64, p. 162 – 173

Le Bissonnais, Y., Renaux, B., Delouche, H. 1995. Interactions between soil properties and moisture content on crust formation, runoff and interrill erosion from tilled loess soils. Catena, vol. 25, p. 33 – 46

Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. European Journal of Soil Science, 47 (4), 425 – 437.

Morgan, R. P. C., 2005, Soil Erosion and Conservation, National Soil Resources Institute, Cranfield University, p. 304, ISBN 1-4051-1781-8.

MŽP, Věstník Ministerstva životního prostředí, Ročník XVIII, částka 11/2008, Vydává Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 65, 100 10 Praha 10, SEVT, a. s., ISSN – tištěná verze 0862-9013

Pivec, J., Brant, V., Moravec, D. 2006. Analysis of the potential evapotranspiration demands in the Czech Republic between 1961 – 1990. Biologia, vol. 61 (19), p. 294 – 299

Poesen, J., Torri, D. 1988. The effect of cup size on splash detachment and transport

measurements: Part I. Field measurements. *Catena supplement*, vol. 12, p. 113 – 126 in:
Morgan, R. P. C. 2005. *Soil erosion & conservation*. Blackwell Publishing. p. 304. ISBN: 1-4051-1781-1

Randall, G.W., Hill, P.R., 2000: Fall strip-tillage systems. 193–199. In R.C. Reeder (ed.) *Conservation tillage systems and management*. MWPS-45, 2nd ed. Iowa State Univ., Ames.

Vach, M., Javůrek, M., 2008, Rostlinná produkce s ohledem na agroekologická hlediska, *Metodika pro praxi, Výzkumný ústav rostlinné výroby*, v. v. i. 2008, ISBN 978-80-87011-58-4

Vetsch, J. A., Randall, G. W., Lamb, J. A. 2007, Corn and Soybean Production as Affected by Tillage Systems, Published online June 5, 2007, Published in *Agron. J.* 99:952–959 (2007).

Vopravil, J., Khel, T., Vrabcová, T., Havelková, L., Procházková, E., Novotný, I., Novák, P., Fučík, P., Duffková, R., Karel Jacko, K., Tylová, I., Hodek, T., 2010, Vliv činnosti člověka na krajinu českého venkova s důrazem na vodní režim a zadržování vody v krajině, *Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy*, v. v. i., Žabovřeská 250, Praha 5 – Zbraslav

Vyn, T. J., Raimbult, B. A. 1993. Long-term effect of five tillage systems on corn response and soil structure. *Agronomy journal*, vol. 85 (5), p. 1074 – 1079

Wischmeier, W. H., Smith, D. D., 1978, *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537., U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. 20402, Stock Number 001-000-03903-2.

10 Elektronické zdroje

ABAG, dABAG und MUSLE 87, Was ist Bodenerosion?, © Copyright 2007 TLL, [online], [cit. 2013-03-23], dostupné
<<http://www.tll.de/verstola/content/home/modelle/abag.html>>

Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Holec, J., Cihlář, P., Fuksa, P., Procházka, L., 10. 03. 2011, *Pásové zpracování půdy v porostech silážní kukuřice*, Česká zemědělská univerzita v Praze, [online], [cit. 2013-04-18], dostupné
<<http://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/pasove-zpracovani-pudy-v-porostech-silazni-kukurice.html>>

Český hydrometeorologický ústav, Historická data – meteorologie a klimatologie [online], [cit. 2013-04-18], dostupné <<http://portal.chmi.cz/portal>>

Dostál T., Krása, J., Dvořáková T., Janotová, B., 2001, Ochrana a organizace povodí, katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství B602, [online], [cit. 2013-03-22], dostupné <https://www.google.cz/#q=http:%2F%2Fstorm.fsv.cvut.cz%2Fon_line%2Fvhk2%2Feroze%252001%2520-%2520uvod%2C%2520vlivy_1.pdf>

Engelhardt, M., Bodenschutz, [online], [cit. 2013-03-17], dostupné <http://markusengelhardt.com/skripte/geographie/04bobuscript_bodenschutz.pdf>

Fränzle, O., Reiche, E. W., Erprobung und Anwendung von Methoden zur einzugsgebietsbezogenen Modellierung der Phosphatdynamik terrestrischer Ökosysteme, 7. Modellierung der Bodenerosion, [online], [cit. 2013-04-04], dostupné <<http://www.dilamo.de/martin/diplom.htm>>

Glaser B., 2005/2006, Böden und Landnutzung in den humiden Tropen WS 2005/2006, [online], [cit. 2013-03-22], dostupné <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/237799/bodenzustandsbericht_ortenaukreis.pdf?command=downloadContent&filename=bodenzustandsbericht_ortenaukreis.pdf>

Hayes, W., Fall Strip Tillage Systems: An Introduction, Ohio State University Fact Sheet, Agricultural Engineering, 590, Columbus, Ohio 43210, AEX-507-00, [online], [cit. 2013-04-02], dostupné <<http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0507.html>>

Hiller, D. A., 2007, Bodenerosion durch Wasser Ursachen, Bedeutung und Umgang in der landwirtschaftlichen Praxis von NRW, Büro für Bodenschutzplanung, [online], [cit. 2013-03-20], dostupné <<https://www.bodenkunde.uni-freiburg.de/objekte/Erosion>>

Iowa Learning Farms, 2013, Strip-tillage Crop Management, 2013, Iowa 50011-3080, [online], [cit. 2013-03-20], dostupné <http://www.extension.iastate.edu/ilf/sites/www.extension.iastate.edu/files/ilf/Strip-tillage_sheet.pdf>

Jakubíková, A., 2008, Metody hodnocení erozních procesů, (použití výpočetních metod pro kvantifikaci intenzity eroze), K143, Fsv ČVUT, 7. 3. 2008, [online], [cit. 2013-03-25], dostupné <http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/yopz/YOPZ_3_web.pdf>

Kirchner, H. S., Bodenschutz, Bodenerosion, WS 2005, Inst. Bodenkunde und Waldern [online], [cit. 2013-04-02], dostupné <<http://www.bodenkunde.uni-freiburg.de/objekte/Erosion>>

Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., Smith, R. E., Govers, G., Poesen, J. W. A., Auerswald K., Chisci, G., Torri, D., M. E. Styczen, 1998, The European Soil Erosion Model

(EUROSEM), [online], [cit. 2013-03-25], dostupné

<<http://www.es.lancs.ac.uk/people/johnq/EUROSEM%20ESPL.pdf>>

Perner, J., 2011, „Möglichkeiten und Grenzen von betriebsbezogenen Analysen und Maßnahmen zum Erosionsschutz“, U. A. S. Umwelt- und Agrarstudien GmbH, [online], [cit. 2013-03-22], dostupné <http://www.tll.de/ainfo/pdf/abforum/abf11_04f.pdf>

Petersen, M., Is Strip-Till Worth, [online], [cit. 2013-04-07], dostupné <http://precisiontillage.com/archive/assets/uploads/Soil%20Fauna_its%20worth%20it%20part3.pdf>

Podhrázká, J., 2008-2009, Protierozní ochranná opatření v zemědělské krajině, [online], [cit. 2013-03-18], dostupné

<http://www.spolekmoravskykras.cz/create_file.php?id=294>

Rinklebe, J., 2006, Vertiefungsrichtung Bodenkunde & Bodenschutz, Bergische Universität Wuppertal, [online], [cit. 2013-03-18], dostupné <<http://www.boden.uni-wuppertal.de/downloads.html>>

Schachtschabel, P., Blume, H. P., Brummer, G., Hartge, K. H., Schwetman, U., 1998, Lehrbuch der Bodenkunde, Bodenerosion str. 366, Stuttgart 1998, [online], [cit. 2013-03-22], dostupné <http://gruenland.wzw.tum.de/fileadmin/auerswald/1998_Auerswald-SchSch.pdf>

Steinhardt, G. C., Franzmeier, D. P., Soil Erosion in Indiana, AY-228, Soils/Fertility, Purdue University Cooperative Extension Service West Lafayette, IN 47907, [online], [cit. 2014-04-07], dostupné <<http://www.extension.purdue.edu/extmedia/AY/AY-228.html>>

SWCD, Allamakee Soil & Water Conservation District, SWCD, USDA, [online], [cit. 2013-03-29], dostupné <<http://allamakeeswcd.org/conservation-practices/cropland-2/>>

Thapaa, B. B., Cassela, D. K., Garrityb, D. P., 1999, Ridge tillage and contour natural grass barrier strips reduce tillage erosion, Department of Soil Science, NCSU, Raleigh, NC 27695-7619, USA, Soil & Tillage Research 51 (1999) 341±356, [online], [cit. 2013-04-07], dostupné <<http://www.worldagroforestry.org/downloads/publications/PDFs/ja99017.pdf>>

USDA_ Soil Management and Conservation, [online], [cit. 2013-03-21], dostupné <<http://www.ers.usda.gov/media/873652/soilmgmt.pdf>>