

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA



KATEDRA ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Diplomová práce

Vliv organických hnojiv na erozní parametry půdy

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Novák Ph.D.

Autor práce: Bc. Martin Císler

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Císler

Zemědělská technika

Název práce

Vliv organických hnojiv na erozní parametry půdy

Název anglicky

Influence of organic fertilizers on soil erosion parameters

Cíle práce

Cílem práce je vyhodnotit vliv různých druhů organických hnojiv na erozní parametry půdy. Dále bude sledován vliv dávky hnojiva a rovněž vliv hnojiva na některé půdní parametry (infiltrace, fyzikální vlastnosti půdy).

Metodika

Práce bude obsahovat data z reálného půdního pokusu. Pokus bude obsahovat několik variant s různým druhem a intenzitou organického hnojení. Práce bude obsahovat i aktuální literární přehled. Data budou náležitě vyhodnocena a okomentována. Práce bude obsahovat i diskuzi s obdobnými pracemi.

Doporučený rozsah práce

50 stran

Klíčová slova

smyv zeminy, povrchový odtok, infiltrace

Doporučené zdroje informací

Blanco, H., & Lal, R. (2008). Principles of soil conservation and management (Vol. 167169). New York: Springer.

El Titi, A. (2002). Soil tillage in agroecosystems. CRC press.

Kvítek, T., & Tipl, M. (2003). Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině (p. 47). Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací.

Morgan, R. P. C. (2009). Soil erosion and conservation. John Wiley & Sons

Morgan, R. P., & Rickson, R. J. (2003). Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. Taylor & Francis.

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Petr Novák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 20. 2. 2023

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 05. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma „Vliv organických hnojiv na erozní parametry půdy“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Petra Nováka, Ph.D. Dále prohlašuji, že veškerou použitou literaturu jsem citoval v seznamu literatury na konci práce.

V Praze dne:

podpis autora

Poděkování

Rád bych takto poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Petru Novákovi, PhD. za odborné vedení a čas, které mi věnoval po dobu zpracovávání této diplomové práce. Dále poděkování patří všem kolegům a přátelům z oboru Zemědělská technika.

Vliv organických hnojiv na erozní parametry půdy

Abstrakt

Každým rokem je velké množství zemědělské půdy ohrožováno vodní erozí. Obzvláště ohrožené jsou pole se svažitém profilem. Vliv vodní eroze na půdu a jemné půdní částice je velmi závažný. Vodní eroze je přírodní, přirozený proces, proto se nedá zastavit. Lze jej pouze omezit, nebo zpomalit. Pro zredukování vlivu vodní eroze se využívají protierozní opatření, která chrání povrch půdy a jemné půdní částice. Nejvíce ohrožené vodní erozí jsou širokořádkové plodiny.

Cílem této diplomové práce bylo posoudit vliv a množství organických hnojiv na erozní parametry půdy v porostu kukuřice. Pro dosažení výsledků byl na svažitém pozemku o sklonu 5,29° založen polní pokus zaměřující se na tři organická hnojiva (hnůj, digestát, kompost). Každé hnojivo bylo zastoupeno ve dvou variantách v různých dávkách. Pro kontrolu byly přidány dvě varianty. Jedna s porostem kukuřice bez aplikace hnojiva a druhá bez vegetace. Měření povrchového odtoku a půdního smyvu bylo prováděno za pomoci metody odtokových mikroparcelek.

Na základě výsledků z měření je možné prokázat pozitivní vliv organických hnojiv na zmírnění vodní eroze. Především redukcí půdního smyvu a povrchového odtoku. Obojí je spojené se zlepšující se infiltrací půdy.

Klíčová slova

Smyv zeminy, povrchový odtok, infiltrace, organická hmota, kukuřice.

Influence of organic fertilizers on soil erosion parameters

Abstract

Every year, large amounts of agricultural land are threatened by water erosion. Fields with sloping profiles are particularly at risk. The impact of water erosion on soil and fine soil particles is very serious. Water erosion is a natural process and cannot be stopped. It can only be reduced or slowed down. To reduce the impact of water erosion, erosion control measures are used to protect the soil surface and fine soil particles. The crops most at risk from water erosion are broad-row crops.

The aim of this thesis was to assess the effect and amount of organic fertilizers on soil erosion parameters in a maize crop. To achieve the results, a field experiment focusing on three organic fertilizers (manure, digestate, compost) was established on a sloping plot with a slope of 5.29°. Each fertilizer was represented in two variants at different rates. Two variants were added as a control. One with corn cover without fertilizer application and the other without vegetation. Surface runoff and soil shear were measured using the microparticle runoff method.

Based on the results from the measurements, a positive effect of organic fertilizers on water erosion mitigation can be demonstrated. Mainly by reducing soil shear and surface runoff. Both are associated with improved soil infiltration.

Keywords

Erosive wash, surface runoff, infiltration, organic matter, maize.

Obsah

1. Úvod	1
2. Zpracování půdy	2
2.1 Technologie s orbou	2
2.2 Technologie bez orby	3
2.2.1 Minimalizace s kypřením půdy	3
2.2.2 Půdoochranné zpracování	4
2.2.3 Přímé setí	6
3. Pěstování širokořádkových plodin	7
3.1 Kukuřice setá	7
3.2 Slunečnice roční	8
3.3 Brambory hlíznaté	8
3.4 Řepa cukrovka	8
3.5 Půdoochranné pěstování širokořádkových plodin	9
4. Eroze půdy	10
4.1 Rozdělení eroze na základě intenzity	10
4.1.1 Normální eroze	10
4.1.2 Zrychlená eroze	10
4.2 Rozdělení eroze na základě působícího faktoru	11
4.2.1 Vodní eroze	11
4.2.2 Větrná eroze	16
4.2.3 Sněhová eroze	18
5. Organická a průmyslová hnojiva	19
5.1 Organická hnojiva	19
5.1.1 Hnojiva živočišného původu	19
5.1.2 Hnojiva rostlinného původu	20
5.1.3 Hnojiva ostatního původu	22
5.2 Průmyslová hnojiva	22

6. Vliv organické hmoty v půdě na erozi	24
7. Cíl práce.....	25
7.1 Předpokládané výsledky.....	25
8. Metodika a polní pokus	26
9. Výsledky měření.....	32
9.1 Meteorologické podmínky	32
9.2 Hodnocené erozní události	34
10. Diskuse	47
11. Závěr.....	49
12. Literatura	50
13. Seznam obrázků.....	54
14. Seznam tabulek.....	55
15. Seznam grafů	56

1. Úvod

Půda je jedním ze základních faktorů v rostlinné produkci, proto její kvalita a vlastnosti patří k velmi častým zkoumaným elementům. Půda funguje jako směsice minerálních a organických látek s velmi pomalou schopností obnovy. Narušení tohoto cyklu obnovy půdy z důvodu nevhodné volby osevního postupu bez zařazení půdozlepšujících plodin, nebo bez navracení biomasy do půdy vede k poklesu organické složky v půdě. Půda vlivem poklesu organické hmoty ztrácí schopnost odolávat erozi.

Zemědělská půda s nedostatečným obsahem organických látek je ohrožena vodní a větrnou erozí. Dále taktéž dochází k omezení biologických aktivit v půdě a taktéž dochází k zhutnění půdy. Ztráta organické složky vede k degradaci půdy a společnému projevu všech výše zmíněných rizik. Pro zachování úrodnosti půdy dalším generacím by mělo být do agronomického plánu každého zemědělce zařazena snaha organickou hmotu do půdy vracet. Navracení organické hmoty do půdy je možné využití rostlinných zbytků po předchozí plodině, zbytků porostu po meziplodině, nebo zapravení různých druhů organických hnojiv (hnoje, kompostu, digestátu).

Jedno z hlavních rizik pro degradovanou půdu je vodní eroze. Tento problém se projevuje celosvětově a stojí každoročně jak za velkými ztrátami ve výnosech, tak i ve ztrátách půdy vlivem únosu a smyvu pryč z pole. Opakovaným působením vodní eroze půda více degraduje z důvodu unášení jemných půdních částic. Vliv vodní eroze na půdu je možný určit pomocí fyzikálních, chemických a minerálních vlastností půdy a lze ho vcelku snadno naměřit. Dalším způsobem měření může být zachytávání povrchového odtoku za jednotku času na předem definované ploše. Následně lze určit i velikost půdního smyvu.

Nejvíce však vznik vodní eroze ovlivňuje volba technologického systému obhospodařování. Nejvíce ohroženou skupinou jsou širokořádkové plodiny (kukuřice, slunečnice, cukrová řepa, brambory). V rané vegetační fázi plodin je meziřádkový prostor bez ochrany a je velmi náchylný na intenzivní letní deště s vysokou kinetickou energií vodních kapek. Po dopadu voda snadněji unáší jemné půdní částice. Z důvodu rozšiřujícího trendu pěstování kukuřice na siláž do bioplynových stanic je potřebné tuto problematiku řešit a zabírat se protierozními opatřeními.

2. Zpracování půdy

Už od počátku zemědělství bylo zpracování půdy součástí pracovního postupu pěstování polních plodin. V historii se nejčastěji jednalo o klasické zpracování půdy, při kterém se využívala orba. S výjimkou posledního sta let byl způsob a kvalita zpracování půdy nejvíce limitován využitím ručních strojů, či strojů poháněných zvířecí silou. Po nástupu mechanizace se začala objevovat místo orby metoda zpracování půdy, která kypřila a míchala půdu do menší hloubky.

Jak už bylo zmíněno k největším vývojovým změnám docházelo až po příchodu mechanizovaných pohonů. Vznikala nová pracovní tělesa (radličky, dláta) pro technologii a způsob zpracování půdy. V současnosti se klade velký ohled na spotřebu energie vynaloženou pro práci, udržitelnost úrodnosti půdy, avšak bez ohledu na kvalitu odvedené práce. Půda se zpracovává do různých hloubek, tak i různými metodami. Výběr druhu a způsobu provedení půdního zpracování se nedá určit za pomoci definovaných pravidel. Každý zemědělec bere ohled na podmínky panující na poli a své zkušenosti.

Zpracování půdy lze podle Hůly a Procházkové (2008) rozdělit na:

- technologie s orbou (konvenční zpracování),
- technologie bez orby (minimalizační způsob),
 - minimalizace s kypřením půdy do zvolené, zpravidla malé hloubky,
 - půdoochranné zpracování,
 - přímé setí.

2.1 Technologie s orbou

Půdu zpracovávající technologie za využití orby se také nazývá konvenční zpracování půdy. Principem takto obhospodařovaného pole je každoroční kypření, drobení a otáčení ornice za využití radličného pluhu s klasikou odhrnovačkou. Radliční pluh se využívají výhradně pro orbu. Součástí orby je odkrojení, převrácení a rozdrobení skývy ornice, dále pak provzdušnění půdy a zároveň zapravení rostlinných zbytků z povrchu do půdy (KUMHÁLA et al., 2007).

Kumhála et al., (2007) dělí orbu dle hloubky zpracování:

- mělkou, do 180 mm,
- střední. 180 mm až 240 mm
- hlubokou 240 mm až 300 mm
- velmi hlubokou, až do hloubky 500 mm.

Pro snahu omezit přejezdy po pozemku je možné spojit orbu s drcením hrud. To napomáhá rychlejšímu přirozenému půdnímu slehávání. Pokud je potřeba přirozený proces slehávání urychlit, využívají se pro drcení hrud pěchy, které mohou být připojeny různými způsoby za pluh. Buďto za pomoci táhel a závěsného zařízení, nebo napevno uchycené k rámu stroje (HŮLA a PROCHÁZKOVÁ, 2008).

Mezi nevýhody konvenčního zpracování půdy patří utužení půdy pod odříznutou skývou, což má za důsledek narušení kapilárních pórů. To následně vede k obtížnějšímu rozkládání rostlinných zbytků zapravených do půdy (KUMHÁLA et al., 2007). Další nevýhodou je vysoká energetická náročnost související se spotřebou paliva. Jedna z nejdůležitějších nevýhod orby je spjata s erozí. Půda je po orbě, nakypření a zapravení všech rostlinných zbytků velmi náchylná na vodní a větrnou erozi.

Konvenční zpracování půdy zůstává i přes jasné nevýhody nedílnou součástí zemědělských postupů, ať už na zapravení rostlinných zbytků po porostu kukuřice, nebo na urovnání povrchu po okopaninách (PÁLTIK et al., 2003).

2.2 Technologie bez orby

Jedná se o alternativu k tradičnímu způsobu zpracování půdy. Způsob zpracování půdy není volen na základě jen agronomických podmínek a využívaných pěstitelských postupů, ale taktéž na ekonomice a ekologické situaci zemědělce.

2.2.1 Minimalizace s kypřením půdy

K rozmachu této minimalizační technologie nejvíce docházelo na začátku 20. století na území Spojených států amerických a části jižní Evropy. Důvodem byla především vysoká míra větrné eroze během intenzivního pěstování kukuřice, což vedlo k rychlému zhoršení vlastností půdy.

Sommer a Zach (1990) popsali bezorební technologii pomocí dvou principů. Prvním je zredukovat intenzitu zpracování půdy bez překlápění zpracovávané půdní vrstvy, avšak docílit jejího dostatečného promísení. Druhým principem bezorební technologie je ponechání části organické hmoty na povrchu. Jako organickou hmotu lze uvažovat posklizňové zbytky předplodiny, nebo biomasa z meziplodiny. To má za efekt snížení vodní a větrné eroze půdy v období vegetačního klidu. Důvodem ponechávání části organické hmoty na povrchu je snížení povrchového odtoku, nebo smyvu zeminy způsobený nadměrnými srážkami.

2.2.2 Půdoochranné zpracování

Půdoochranné a minimalizační zpracování půdy se od sebe liší s přístupem k posklizňovým zbytkům. Půdoochrannou technologii lze specifikovat tak, že se ponechává třicet a více procent posklizňových zbytků na povrchu pole. Větší podíl posklizňových zbytků vede k lepším schopnostem odolávat vodní erozi, snížení výparů vodní vlhkosti z povrchu pole a zlepšení půdního mikroklima (STACH, 2000).

Půdoochranné technologie spočívají ve zpracování půdy v omezené míře. Jedná se především o hloubce, do které se půda zpracovává. Mělké zpracování půdy vede k možnostem snazšího a dřívějšího založení budoucího porostu. Jeden z důvodů, kdy lze půdoochrannou technologii využít, je během nepříznivých podmínek na vláhu. Pole je pak možno připravit v daných podmínkách lépe, a to s patřičně menší energetickou náročností oproti konvenčnímu zpracování půdy (MANNERING a FENSTER, 1983).

Půdoochranné zpracování půdy lze podle Bradyho a Weina (1999) rozdělit na pět základních typů:

- no – till,
- ridge – till,
- strip – till,
- mulch till,
- reduced – till.

2.2.2.1 No – till (direct-drilling, zero-tillage)

Povrch pole se po sklizni nikterak neupravuje až do momentu setí. Pro zasetí se používají speciální sečí stroje, které ukládají osivo tak, aby po zasetí zůstalo 80-90 % povrchu půdy pokryto rostlinnými zbytky. Pro ochranu proti zaplevelení se využívají chemické postřiky.

2.2.2.2 Ridge – till (zpracování půdy s vytvořením hrůbků)

Tuto metodu lze nejlépe uplatnit u pěstování širokořádkových plodin. Nejlepším příkladem je kukuřice. Principem metody je provádění výsevu na vrcholky hrůbků o výšce 100-150 mm. Ochranou proti zaplevelení je ukládání rostlinných zbytků mezi hrůbky tak, aby zakrývaly až 70 % povrchu půdy.

2.2.2.3 Strip – till (zpracování půdy v pásech)

Metoda, kde dochází k zpracování povrchu pole pouze v úzkých pruzích. Je velmi rozšířena u pěstování širokořádkových plodin. Součástí zpracování je i uložení osiva případně i hnojiva. Zbytek povrchu zůstává nezpracovaný a pro ochranu proti zaplevelení lze využít chemické postřiky, nebo mechanickou kultivaci.

2.2.2.4 Mulch till

Jedná se o metodu, při které jsou po sklizni zbylé rostlinné zbytky mulčovány a rozprostřeny po povrchu. Po následném zpracování půdy zůstává okolo 30 % rostlinných zbytků na povrchu, nebo v jeho blízkosti. Metodu lze aplikovat za využití radličkových, dlátových a talířových nástrojů. Ochranou proti zaplevelení je využití chemického postřiku, nebo mechanické kultivace.

2.2.2.5 Reduced – till

Jiné metody půdoochranného zpracování půdy a setí, po kterých je ponecháno minimálně 30 % rostlinných zbytků na povrchu půdy.

2.2.3 Přímé setí

Hlavní technologií, která se využívá při přímém setí, je No – till. Přímé setí spočívá v ukládání osiva, případně hnojiva přímo do předem nezpracované půdy. Pro tuto technologii se využívají speciálně upravené secí stroje, díky kterým dochází k rozrušení maximálně 25 % povrchu. Následně zůstává povrch půdy pokryt z 80–90 % rostlinnými zbytky. Velké množství rostlinných zbytků má kladný vliv na snížení vodní eroze, proto lze tuto technologii výhodně využít na pozemcích, které jsou jindy velmi náchylné na vodní erozi (MAŠEK et al., 2005).

Během minimalizačního a půdoochranného zpracování půdy lze sledovat hydraulickou vodivost půdy a infiltraci vody do půdy. Zvýšení těchto parametrů následně vede ke snížení povrchového odtoku vody a snížení vodní eroze. Naopak u konvenčního zpracování půdy dochází k rovnoměrnému promísení zpracovávané vrstvy a docílení určité homogenity. Ta však vede k snížení schopnosti vsakování vody do půdy. To vede k závěru, že půdoochranné technologie a metody opravdu vedou ke snížení smyvu zeminy vlivem vodní eroze. Taktéž napomáhají k daleko snazšímu vsakování vodních srážek do půdy (TITI, 2002).

Zkoumání zpracování půdy je spojeno i s porovnáváním určitých fyzikálních vlastností půdy jako jsou:

- struktura půdy,
- objemová hmotnost půdy,
- pórovitost půdy,
- penetrační odpor půdy,
- agregátní stabilita půdy.

Po zpracování je půda v celé zpracovávané vrstvě značně nakypřena. Dochází ke zvýšení pórovitosti a naopak k poklesu objemové hmotnosti. Nakypření a s ním spjaté fyzikální vlastnosti se začnou vracet do původního stavu vlivem sesedání půdy, povětrnostních podmínek, vysycháním půdy, nebo dalšími agrotechnickými zásahy (HŮLA a PROCHÁZKOVÁ, 2008).

Rozhodnutí, jakou metodu uplatnit, záleží jak na teoretických znalostech zabývajících se touto problematikou, a taktéž na dlouhodobých zkušenostech plynoucí ze znalosti agronomických podmínek dané lokality pole. Po uvážení všech doporučení a rizik následuje výběr vhodné technologie (PASTOREK, 2002).

3. Pěstování širokořádkových plodin

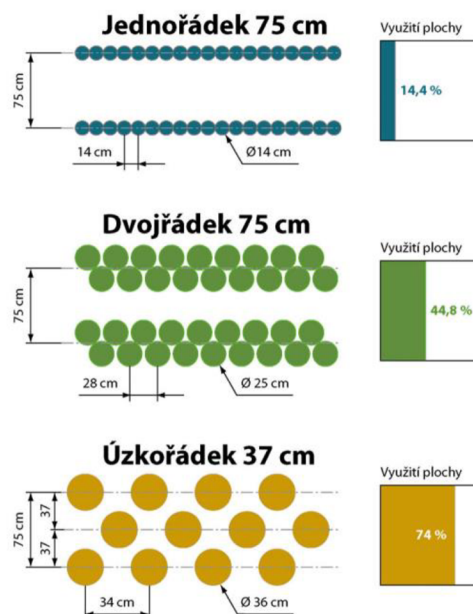
Pěstování širokořádkových plodin vyžaduje rozšíření řádků natolik, aby bylo možné do každého řádku bezproblémově zasahovat se zemědělskou technikou nebo aby nedocházelo k negativní konkurenci mezi jednotlivými jedinci plodiny.

3.1 Kukuřice setá

Kukuřice setá patří bezpochyby k jedné z nejznámějších širokořádkových plodin pěstované na území České republiky. Jak v ČR, tak i ve světě, plochy pěstování kukuřice meziročně přibývají. Kukuřice setá se pěstuje s cílem dvou produktů. Prvním je využit celou rostlinu na siláž, kterou je možno zkrmit hospodářským zvířatům, nebo využít jako biomasu do bioplynových stanic. Druhým produktem pěstování kukuřice je využití klasu a oddělení pouze kukuřičného zrna.

V současné době stále zůstává standardem pěstování kukuřice v řádcích 70–75 cm, i přesto se objevují tendence navýšit počet jedinců rostlin na hektar zúžením řádku na 37,5 cm. Takto úzké řádky stále zajistí prostor pro každou rostlinu tak, aby nedocházelo k vzájemné negativní konkurenci. Na obrázku č. 1 jsou znázorněny způsoby pěstování kukuřice (SMUTNÝ, 2016).

Obr. č. 1: Různé způsoby pěstování kukuřice (SMUTNÝ, 2016).



3.2 Slunečnice roční

Dalším zástupcem mezi širokořádkovými plodinami je slunečnice roční. Jedná se o olejninu a opět ji lze pěstovat buďto na siláž nebo na zrno. Zrna se následně zpracovávají na výrobu slunečnicového oleje. Výsev se provádí s meziřádkovou vzdáleností 60–70 cm a mezera jednotlivých semen v řádku následně 22–27 cm. Výsev je možné provádět speciálními secími stroji pro výsev kukuřice.

Širší rozmezí řádků řadí slunečnici do plodin velmi náchylných na vodní erozi. Vzhledem k tomu, že pro slunečnici je vhodnou předplodinou ozimá pšenice, nabízí se využití zasévání přímo do nezpracovaného strniště po předplodině a vytvoření protierozní ochrany. Jde však také uvažovat o využití zasetí do chemicky umrtveného porostu meziplodiny, jako je například pohanka setá, jetel nachový a hořčice bílá. Vrstva umrtvené meziplodiny chrání půdu před vlivem eroze a povrch před plevelem.

3.3 Brambory hlíznaté

Řadí se do skupiny hlíznatých okopanin. Jsou pěstovány především na produkci hlíz, které se dají využívat od samotné konzumace až po výrobu škrobu či lihu.

Jejich specifikem při pěstování je využití sadby do hrůbku. Před sadbou je provedeno odkamenění pozemku z důvodu, aby nedocházelo k deformaci jednotlivých hlíz. Nejčastější meziřádkovou vzdáleností hrůbku je 75 cm. Hrůbky mají dosahovat výšky 25–30 cm. Meziřádkový prostor je potřeba dostatečně prokypřit pro zvýšení infiltrace vody do půdy (DIVIŠ et al., 2010).

3.4 Řepa cukrovka

V oblasti České republiky je velmi známou širokořádkovou plodinou řepa cukrovka. Obdobně jako pěstování brambor je pěstování řepy cukrovky na úpadku. Cukrová řepa slouží k produkci cukru, melasy, bioetanolu a lihu.

Řepa se seje s meziřádkovou vzdáleností 45 cm. Vzdálenost mezi rostlinami v řádku se pohybuje v rozmezí 18–21 cm. Větrnou a vodní erozí je půda u pěstování cukrové řepy nejvíce ohrožena v době vzcházení, proto se provádí setí do porostu vymrzající meziplodiny, na kterém byla aplikovaná metoda mulch-till (HAMMEROVÁ, 2016).

3.5 Půdoochranné pěstování širokořádkových plodin

Jak už bylo zmíněno v předchozích kapitolách, širokořádkové plodiny jsou velmi náchylné na vodní erozi, proto je snaha ji předcházet a dodržovat standardy „Dobrého zemědělského a enviromentálního stavu“ (DZES). To znamená omezit výsev erozivně náchylných plodin na svažité pozemky, nebo se případně pokusit omezit nebo neutralizovat její vliv (SMUTNÝ, 2016).

Pro zachování DZES jsou zřízeny pro dodržování standardy:

- ochrana pásů podél vodních toků,
- zavlažovací soustavy,
- ochrana podzemních vod před znečištěním,
- minimální pokryv půdy,
- minimální úrovně obhospodařování půdy k omezení eroze,
- zachování úrovně organických složek půdy,
- zachování krajinných prvků a opatření proti invazivním druhům rostlin.

K zamezení vodní eroze u kukuřice a slunečnice se využívá několik metod. Jednak se využívají metody jako je No-till, Strip-till a Mulch-till, nebo se přistupuje u setí kukuřice na zužování řádků a docílení pravidelnějšího kořenového systému.

U pěstování brambor a řepy se uplatňuje jako ochrana vůči erozi půdy sázení po vrstevnici, vytvoření zasakovacích pásů, přerušování, využití metody Mulch-till a střídání pásů s více erozivně odolnějších plodin a osetí souvratí (BLANCO, LAL,2008).

4. Eroze půdy

Největším bohatstvím pro každého hospodáře, který se živí jakoukoliv zemědělskou či lesnickou činností, je půda. Na území střední Evropy, a tedy i České republiky, je půda ohrožena erozí, utužením, sesuvy a úbytkem organické hmoty. Eroze působí jakožto přírodní jev na půdu vodou, větrem, ledem, nebo jinými vlivy, které dokážou posouvat a ukládat do sedimentů půdní částice (JANEČEK et al., 2008).

Půdní erodované částice mohou zapříčinit ne jenom škody na polích, ale i zanesení příkopů, vodních toků a vodních nádrží. Zejména u vodních toků dochází na rizikové znečištění částicemi, které jsou bohaté na živiny z hnojiv a chemie dodávaných do půdy za účelem zlepšení výnosů (VÚMOP, 2012).

4.1 Rozdělení eroze na základě intenzity

Erozi lze rozdělit podle intenzity a času na normální (přirozenou) a zrychlenou (abnormální). Určení intenzity eroze je možné vyjádřit jako jednotky hmotnosti či objemu na jednotce plochy za jednotku času (HOLÝ, 1994).

4.1.1 Normální eroze

Normální neboli přirozená půdní eroze probíhá velmi pozvolna s velmi malou intenzitou. Dochází k neustálé přeměně půdního reliéfu. Intenzita normální eroze je tak pozvolná, že je zapotřebí několika generací pro zaznamenávání změn. Součástí normální eroze není pouze ztráta a přesun půdních částic, ale i doplňování nových částic z půdního podkladu (MORGAN, R. P. C., DUZANT, J. H., 2008).

4.1.2 Zrychlená eroze

Zrychlená či abnormální půdní eroze vzniká vlivem aktuálních povětrnostních podmínek. Dochází k nebezpečnému a rychlému posouvání půdních částic a chemických látek. Intenzita posunu těchto látek je tak vysoká, že nedochází k nahrazení půdních částic vlivem půdotvorným procesem z půdního podkladu. Zrychlená eroze vede k degradaci půdy vlivem smyvu půdních částic bohatých na živiny (HOLÝ, 1978). Podle Peimentela (2006) je v současnosti zrychlenou erozí ohroženo až 80 % zemědělské půdy na světě. To způsobilo nenávratnou ztrátu jedné třetiny orné půdy za posledních 40 let.

4.2 Rozdělení eroze na základě působícího faktoru

Dělení druhů eroze vychází z působení erozních činitelů. Erozi je možno rozdělit na vodní (akvatickou), větrnou (eolitickou), ledovcovou (glaciální), sněhovou, gravitační biologickou, nebo antropogenní (HOLÝ, 1978).

Menší pozornost v České republice podle Novotného (2017) se klade na erozi zpracováním a sklizňovou erozí. Eroze zpracováním spočívá v posouvání půdních částic během orby ve směru svahu. U eroze sklizňové dochází ke ztrátě půdních částic, vlivem odvážení půdy společně se sklizenou plodinou. Výzkumy v Evropě však naznačují, že může docházet až ke srovnatelným ztrátám jako u vodní eroze.

4.2.1 Vodní eroze

Jedná se o přírodní proces, při kterém vlivem kinetické energie vodních kapek dochází k rozrušení půdního povrchu, nebo blízkosti povrchu. Následným shlukováním a splavováním vody dochází k unášení (transportu) jemných částic půdy. Po ztrátě kinetické energie tekoucí vody dochází k následnému usazování půdních částic na jiném místě.

Pojmenování vodní eroze lze rozdělit i podle způsobu působení na okolí. Mechanické působení vody se nazývá koraze, chemické zas koroze. Evorze je označení pro vymílání horniny vířivým pohybem. Obrušování skalního podkladu vodních toků, nebo ostatních vodních nádrží se značí jako abraze (HOLÝ, 1978).

K normální vodní erozi dochází například vlivem vodního příboje vlnobití u vodních nádrží, jezer a moří. Zrychlená vodní eroze půdy (srážková) vzniká vlivem působení dlouhotrvajících, nebo přívalových dešťů a také vlivem rychlého tání sněhu a ledu (JANEČEK et al., 2008).

Vodní erozi lze popsat také jako selektivní proces, při kterém jsou lehčí a jemnější částice unášeny proudem vody. Jemné půdní částice jsou schopny velmi dobře absorbovat těžké kovy, pesticidy a patogenní organismy. To je obzvláště nebezpečné při zasažení vodních toků, nebo ostatních vodních nádrží touto kontaminovanou směsí vody a jemných půdních částic (KVÍTEK a TIPPL, 2003).

Podle Janečka et al. (2008) je průběh a intenzita vodní eroze půdy ovlivněna součinností několika faktorů:

- klimatické a hydrologické (zeměpisná poloha, nadmořská výška, množství a intenzita srážek, teplota, oslunění, výpar, odtok, směr a síla větru),
- morfologické (sklon území, délka a tvar svahu, expozice, návětrnost),
- geologické a půdní (povaha půdního substrátu, půdní druh a typ, textura a struktura půdy, vlhkost a zvrstvení půdy, obsah humusu)
- vegetační (hustota a délka trvání pokryvu)
- způsob využívání a obhospodařování půdy (poloha a tvar pozemku, směr obdělávání, střídání plodin).

4.2.1.1 Určení ohroženosti pozemku vodní erozí

Vyhodnocení rizika vodní eroze na pozemku lze docílit přímým terénním pozorováním rozšířeným o laboratorní analýzy prováděných na malých úsecích pozemku. Pro docílení odhadu erozního ohrožení pozemku se využívají metody matematického modelování. Modelování eroze půdy je složena z matematických metod, které zaznamenávají celý proces eroze. Od unesení jemných půdních částic, až po jejich sedimentaci. Tyto matematické metody lze už aplikovat na rozsáhlejších celcích, proto je možné rozpoznat náchylná místa na vodní erozi a odhadnout rozsáhlost procesů v různém měřítku (KLIMENT a LANGHAMMER, 2005).

Podle Klimenta, Kadlece a Langhammera (2008) existují tři základní modely matematických metod eroze půdy:

- empirický model (založen na statistické analýze jednotlivých faktorů ovlivňující erozi),
- simulační model (na základě fyzikálního erozního procesu),
- semi-empirický model (kombinuje předešlé modely).

Wschmeier a Smith (1978) tvrdí, že nejpoužívanější model je založený na využití univerzální rovnice. Jedná se o model USLE (Universal Soil Loss Equation), což znamená univerzální rovnice ztráty půdy. Následovala úprava modelu USLE a tím vznikl nový model RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), to znamená revidovaná univerzální

rovnice ztráty půdy. Využití RUSLE modelu je pro vytvoření predikce dlouhodobého průměru roční ztráty půdy, způsobenou odtokem z pozemku vlivem specifických klimatických podmínek dané oblasti, půdními poměry, parametry pozemku, využitého systému pěstování plodin, způsobu obdělávání půdy a používání protierozních činitelů (GHOSAL, DAS BHATTACHARYA, 2020).

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy je vyjádřena rovnicí:

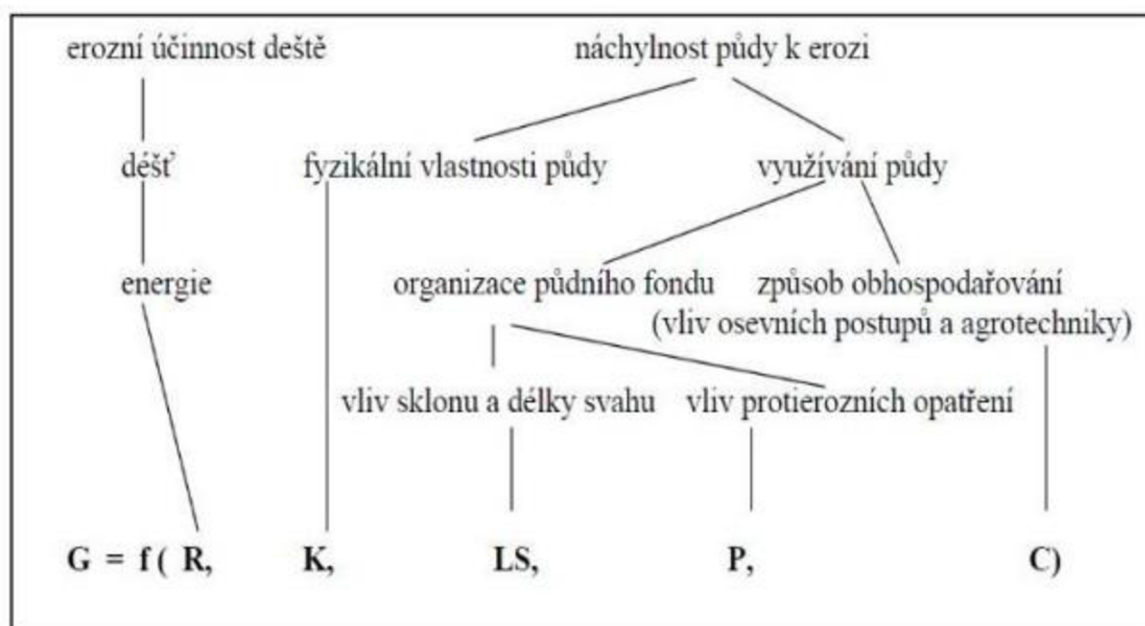
$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad [t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}] \quad [1]$$

Kde:

- G – průměrná roční ztráta půdy [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$]
- R – faktor erozní účinnosti deště [$MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$]
- K – faktor erodovatelnosti půdy [$t \cdot MJ^{-1} \cdot cm^{-1} \cdot h$]
- L – faktor délky svahu
- S – faktor sklonu svahu
- C – faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu
- P – faktor účinnosti protierozního opatření.

Univerzální rovnici lze velmi názorně zobrazit pomocí blokového schématu Hudsona (HOLÝ, 1978).

Obr. č. 2: Blokové schéma univerzální rovnice (HOLÝ, 1978).



4.2.1.2 Opatření proti vodní erozi

Půdu na svažitéch zemědělských pozemcích je potřeba chránit vhodně zvolenými protierozními metodami. Principem protierozní ochrany půdy je zamezení a zachycení po povrchu odtékající vody na daném pozemku, což lze docílit zvýšením infiltrace povrchu půdy a snížením rychlosti odtékající vody.

Podle Kvítka a Tipla (2003) protierozivní opatření se dělí na tři základní druhy: organizační, agronomické, technické.

Opatření organizačního charakteru

- návrh vhodného umístění pěstovaných plodin,
- návrh pásového pěstování plodin,
- návrh optimálního tvaru a velikosti pozemku,
- návrh vegetačních pásů mezi pozemky,
- návrh záchytných travnatých pásů.

Vhodné umístění pěstovaných plodin

Návrh umístění pěstovaných plodin se zakládá v pěstování erozivně ohrožených plodin na neohrožených, nebo mírně erozí ohrožených pozemcích. Pro lokace, které jsou silně ohroženy vodní erozí, nebo se nacházejí v blízkosti vodních toků a nádrží, se doporučuje trvalé zatravnění s pravidelným sečením. Pro dostatečnou ochranu vodních toků a děl před smyvem zeminy nesmí být zatravněný pás užší než 6 metrů.

Pásové pěstování plodin

Principem této metody je střídání různě širokých pásů erozivně ohrožených plodin a plodin s vysokou protierozní schopností. Jako erozivně ohrožené plodiny se uvažují širokořádkové plodiny (kukuřice, slunečnice, brambory, řepa). Jako plodiny s vysokou protierozivní schopností lze uvést obiloviny nebo travní porost. Maximální odklon směru pásu by neměl přesáhnout 30° od vrstevnice (NOVOTNÝ, et al., 2017).

Optimální tvar a velikost pozemku

Je vhodné, aby delší strana pozemku směřovala ve směru vrstevnice a zároveň maximální šířka pozemku po spádnicí nepřekročila vypočítanou maximální přípustnou délku určenou například modelem USLE (JANEČEK et al., 2008).

Opatření agrotechnického charakteru

Protierozní agrotechnická opatření dopomáhají ke zvyšování infiltrace povrchu půdy především v období přivalových srážek (červen až srpen). Současně v tomto období širokořádkové plodiny jako jsou kukuřice, slunečnice, nebo brambory svým malým vzrůstem nedostatečně kryjí povrch půdy (JANEČEK, 2000).

Pro zakrytí povrchu půdy rostlinnými zbytky je možno využít několik už dříve zmíněných metod:

- setí, nebo sázení po vrstevnici,
- ochranné obdělávání (bez orebné setí),
- pásové zpracování půdy (strip – till),
- hrázkování, důlkování,
- plečkování, dlátování, podrývání.

Mechanickým rozrušením povrchu za pomoci plečkování dochází k nakypření vrstvy půdního povrchu v meziřadí a tím pádem k zabránění rychlému odtoku povrchové vody. U pěstování cukrové řepy se využívají pro kultivaci meziřadí dláta, díky kterým dochází k lepšímu vsakování povrchové vody (NOVOTNÝ, et al., 2017).

Odolnost půdy proti vodní erozi je možné také agrotechnicky zvýšit zlepšením půdní struktury, nejčastěji dodáváním organických hnojiv do půdy.

Opatření technického charakteru

Tyto opatření se uplatňují až po vyčerpání všech možností předchozích opatření. Jedná se o velký zásah do půdy a krajiny samotné. Snížení vlivu erozivního působení povrchového odtoku je možno docílit zmenšením sklonu pozemku, délky svahu a vytvořením bezpečného soustředěného odvodu povrchového odtoku (JANEČEK et al., 2008).

- terénní urovnávky,
- protierozní příkopy a meze
- průlehy,
- terasy,
- protierozní cesty,
- ochranné hrázky,
- protierozní nádrže.

Terénní urovnávky – využívají se k odstranění lokálních terénních útvarů přesuvem zeminy a dorovnání nerovností. Tato metoda je vhodná na hluboké půdy tak, aby nedošlo k odstranění celé vrstvy ornice (JANEČEK et al., 2008).

Protierozní příkopy a meze – slouží jako kombinace pro přerušení svahu a zkrácení volné délky povrchového odtoku. Orientovány jsou ve směru vrstevnice. Protierozní příkopy jsou záchytné a sběrné. Meze bývají zatravněné a porostlé dřevinami.

Průlehy – metoda je velmi podobná protierozivnímu příkopu. Odlišnost je v hloubce. Průlehy jsou mělké, široké a trvale zatravněné příkopy v mírném odklonu od vrstevnice. Aplikuje se ve svahu o sklonu do 10° (NOVOTNÝ, et al., 2017).

Terasy – jedná se o metodu s nejvyšší formou ochrany proti vodní erozi. Podle Kvitka a Tippla (2003) se k vytvoření teras přistupuje jen velmi výjimečně. K realizaci dochází na svazích o sklonu 20° a více. Podmínkou jsou opět hluboké půdy.

Protierozní cesty – jsou vedeny pod svahem ve směru vrstevnice, doplněny cestním příkopem sloužícím jednak pro odvodnění cesty, ale také pro odvod povrchového odtoku z pozemku nad cestou.

Ochranné hrázky – mohou sloužit dvojnásobem, jako ochranný, pro ochranu určité lokality, nebo jako kombinace se záchytným příkopem, pro odvod povrchového odtoku. Hrázky se vystavují 1 až 1,5 metru vysoké.

Protierozní nádrže – využívají se jako retenční nádrže, pro zadržení smyté zeminy a transformaci, nebo pro částečné pohlcení povodňové vlny vytvořené povrchovým odtokem ze zemědělských pozemků (NOVOTNÝ, et al., 2017).

4.2.2 Větrná eroze

Větrná eroze je přírodní proces, při kterém dochází k narušování povrchu půdy vlivem větru. Vlivem mechanické síly větru dochází k unášení volných půdních částic na jiné místo v rozdílných vzdálenostech. Větrná eroze způsobuje selektivní dělení půdních částic, podle jejich velikostí a váhy. Náchylnější na únos větrem jsou jemné a lehké půdní částice (MORGAN, 2009).

Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují intenzitu větrné eroze. Jeden ze základních jsou klimatické podmínky (rychlost a směr větru, teplota a vlhkost vzduchu, úhrn srážek). Dalšími faktory jsou půdní a geologické (typ půdy, velikost a tvar půdních částic),

vegetační (množství rostlinných zbytků na povrchu), tvar a velikost pozemku, vliv lidské činnosti a hospodaření na pozemku (PODHRÁZKÁ, et al., 2013).

K největšímu ohrožení půdy na polích větrnou erozí dochází po srážky chudé zimě v průběhu jara, kdy pole není pokryto souvislým porostem následující plodiny, ani rostlinnými zbytky po předplodině a povrch pole je vysušený (JANEČEK, et al., 2008).

Podle Holého (1978) lze větrnou erozi rozdělit ve dvou formách:

- deflace,
- korazi.

Deflace je únos a přemístění lehkých půdních částic vlivem působení síly větru. Efektem je přemístění o různou vzdálenost a hromadění půdních částic na písečných přesypech.

Koraze je dlouhodobé obrušování povrchu horniny půdních částic unášené vlivem deflace. Rychlost a velikost koraze závisí na odolnosti erodovaného materiálu a na velikosti a rychlosti unášených částic. Nejnáchylnější horninou podléhající vlivu koraze je pískovec (HOLÝ, 1978).

4.2.2.1 Opatření proti větrné erozi

Ochranou půdy proti větrné erozi je vegetace na povrchu půdy. Kořeny rostlin utuží půdu a vytvoří pevné celky částic. Rychlost a únosovou schopnost větru redukuje nadzemní část rostliny. Ideální ochranou proti větrné erozi je docílení trvalé rostlinné příkryvky na povrchu půdy (STŘEĎANSKÝ, 1993).

Organizační opatření

Principem větrné protierozní ochrany je uspořádání a tvar pozemku tak, aby delší strana pozemku nebyla ve směru převládajícího směru větru. Volba směru kultivace se volí na základě stejné úvahy. Na písčítých půdách nesmí docházet k překročení delší strany pozemku ve směru převládajícího směru větru přes 50 metrů.

Obdobně jako u vodní eroze lze využít střídání vegetačních pásů. Střídání více a méně náchylných plodin na větrnou erozi. Ve velmi ohrožených oblastech je doporučeno střídat plodiny s trvale travním porostem (JANEČEK, et al., 2008).

Agrotechnické opatření

Na půdách silně náchylných na větrnou erozi by nemělo docházet k orbě. Při orbě dochází k převrácení jednotlivých skýv a kompletní zapravení rostlinných zbytků pod povrch. Kultivace půdy by měla být prováděna při správné vlhkosti tak, aby docházelo ke tvorbě hrud. Při volbě kultivačních strojů se nedoporučuje volba strojů, které rozprašují půdu (JANEČEK, et al., 2008).

Odolnost proti větrné erozi je možno zlepšovat dostatečným nasycením půdy organickými hnojivy nebo vytvořením trvalého krytu půdy. Toho je možno docílit využitím způsobů s omezenou kultivací, nebo ponecháním zbytku mulče na povrchu půdy (LI, et al., 2007).

Biotechnická (technická) opatření

Nejefektivnější ochranou před větrnou erozí jsou lesní pásy a meze (větrolamy). Jedná se o různě široké pásy křovin a stromů. Vytváří trvalou ochranu proti větrné erozi a redukuje rychlost větru. Vlivem snížení proudění vzduchu dochází v blízkosti větrolamů k nárustu vlhkosti vzduchu. Jsou vysazovány kolmo na směr převládajícího směru větru. Méně účinnějším způsobem ochrany pozemku jsou mobilní ploty. Především kvůli malé výšce chrání jen malou oblast za plotem (SUDMEYER a SCOTT, 2002).

4.2.3 Sněhová eroze

Sněhová eroze je na polích na území České republiky málo rozšířená. Vyskytuje se výhradně v podhorských a horských oblastech ve dvou variantách. Ke vzniku první varianty sněhové eroze dochází vlivem pohybu sněhu ve formě laviny. Na půdu působí lavina velkým tlakem při vysokých rychlostech způsobeným pohybem sněhu. Dochází až k devastujícím škodám v trajektorii laviny. Druhá varianta sněhové eroze není tak devastující a projevuje se vlivem pomalého pohybu vrstvy sněhu způsobeným táním na jaře.

Rozdílem od vodní eroze je dopad sněhových a vodních srážek na půdu. Při sněžení nedochází vlivem kinetické energie sněhových vloček k pohybu jemných částic půdy. Ke smyvu půdy dochází až při rychlé oblevě a tání sněhu (JANEČEK, et al., 2008).

5. Organická a průmyslová hnojiva

Hnojiva se využívají jako doplňková výživa pro rostliny nebo pro zlepšení půdních vlastností. Mohou se aplikovat jak tekutá, prášková, granulová, tak i pevná hnojiva. Pro výživu rostliny obsahují hnojiva dusík, draslík a fosfor. Pro zlepšení půdních vlastností, lepší odolnosti vůči vodní a větrné erozi, se aplikují organická hnojiva, která přidávají do půdy potřebné organické látky.

5.1 Organická hnojiva

Organická hnojiva je možno definovat jako hnojiva, ve kterých jsou obsaženy živiny v organické formě. Využití organických hnojiv pomáhá zvyšovat půdní úrodnost, kapacitu přijímání vody do půdy, množství mikroorganismu a živin v půdě. Jedná se především o směsi bohaté na dusík, fosfor a draslík. V minulosti se hlavně přihlíželo na efekt dodání živin do půdy. Dnes se postoj k organickým hnojivům spíše mění ve směru ke zlepšení půdních vlastností a zabránění půdní degradace.

Organická hnojiva vznikají jako vedlejší produkt při zemědělské činnosti. Jednak jako odpadní část při chovu hospodářských zvířat, nebo také při pěstování a kultivaci rostlin. V České republice patří k nejrozšířenějším druhům: chlévský hnůj, močůvka, kompost, zelené hnojení, posklizňové zbytky (KUNZOVÁ, 2009).

5.1.1 Hnojiva živočišného původu

Živočišná neboli stájová hnojiva jsou živočišného původu. Na našem území se takto nejčastěji popisují zbytky z chovu hospodářských zvířat, může to však znamenat i zbytky z chovu ryb.

Druhy stájových hnojiv je možno dělit podle jejich složení, kvality a uskladňování. Velký vliv na kvalitu a druh má také způsob ustájení jednotlivých hospodářských zvířat. Mezi stájová hnojiva lze zařadit:

- chlévský hnůj,
- kejda,
- močůvka.

Chlévský hnůj

K nejrozšířenějším statkovým hnojivům patří chlévský hnůj. Jedná se o vyzrálou směsici (chlévkou mrvu) tekutých výkalů, moči, zbytků krmiva a podestýlky. Z důvodu vysokého obsahu živin v čerstvé chlévské mrvě, především dusíkatých organických kyselin, je potřeba nechat mrvu vyzrát. V případě přímého využití čerstvé chlévské mrvy dojde k poškození a popálení kořenového systému rostlin. Zrání lze popsat jako kvašení, tlení, nebo hnití. Během zrání dochází ke ztrátám organických látek, tak i živin ve formě dusíku. Zlepšení je možné dosáhnout překrytím bloků hnoje zeminou a zamezením unikání těkavého amoniaku. (RYCHETSKÝ a ŘÍMOVSKÝ, 1996).

Kejda

V případě ustájení hospodářských zvířat bez podestýlky dochází k produkci kejdy. Ve směsi není obsažené stelivo (sláma), proto se nejedná o chlévkou mrvu. Stejně jako chlévská mrva, i kejda musí projít fermentací v jímce pro vytvoření vhodného hnojiva. Obsah organických látek není tak vysoký jako u chlévského hnoje především kvůli většímu podílu vody ve směsi. Naopak dochází k rychlejšímu obohacení půdy o organické látky. Podobně jako u chlévského hnoje dochází nevhodným skladováním nebo aplikací k rychlému úbytku amoniaku, proto je potřeba co v nejkratší době kejdu zapravit pod povrch země (RICHTER, et al.,2002).

Močůvka

Fermentovaná moč od hospodářských zvířat zředěná vodou vytváří močůvku. Jedná se o stájové hnojivo s malým podílem organických látek, ale s vysokým obsahem dusíku a draslíku ve formě močoviny. Při rozkladu močoviny dochází vlivem nevhodného uskladnění a aplikace k rychlému uvolňování těkavého amoniaku. To může způsobit až 50% úbytek dusíku ve směsi. Vhodnou metodou aplikace je přímé zapravení do země.

5.1.2 Hnojiva rostlinného původu

Hnojiva rostlinného původu neobsahují takové množství živin jako živočišná (stájová) hnojiva, naopak obsahují větší podíl organické hmoty, proto se využívají spíše pro zlepšení půdních vlastností.

Do této skupiny hnojiv lze zařadit:

- posklizňové zbytky,
- zelené hnojení,
- dřevěná štěpka.

Posklizňové zbytky

Jedná se o zbytky rostlin, které nejsou u dané plodiny hlavním produktem. Nadzemní část, jako je sláma, může být z pole odvážena nebo rozprostřena po povrchu a společně s kořenovým systémem zapravena do půdy. Důležitým faktorem při ponechání posklizňových zbytků je velikost kontaktní plochy s mikroorganismy v půdě. Závisí na tom schopnost mineralizace (schopnosti rozkladu). Čím menší velikost posklizňových zbytků, tím větší kontaktní plocha s půdou (SOANE, 2012).

Zelené hnojení

Existují dvě možnosti využití užítku zeleného hnojení. První je ochrana půdy v období vegetačního klidu jako meziplodina a druhou je, při následném zapravení, obohacení půdy o organickou hmotu. Zelené hnojení chrání půdu nejen před půdní erozí, ale také zamezuje růstu plevelu. Obdobně jako u posklizňových zbytků je potřeba rostliny zeleného hnojení před zapravením do půdy dostatečně rozdrtit, nebo počkat na teploty pod 10 °C. Jako zelené hnojení je možné zasít hořčici, řepku, svazenku anebo bobovité rostliny. Některé druhy rostlin dokonce půdu obohacují (o dusík, draslík, fosfor) a částečně eliminují nedostatky nevhodného střídání plodin (RICHTER, et al., 2002).

Dřevěná štěpka

Součástí průmyslu zpracovávající dřevo vznikají drobné úlomky dřeva nebo kůry. Tento odpad je následně možné využít jako malý zdroj organické hmoty pro půdu. Komplikace ale nastává v nemožnosti rozsáhlého využití z důvodu vysokého obsahu uhlíku. To následně v půdě způsobí nedostatek dusíku, což ovlivní pěstování rostlin po dobu několika let. Kvůli tomuto se dřevěná štěpka častěji využívá jako palivo do bioplynových stanic nebo spaloven. Dále je možné využít dřevěnou štěpku jako pokrývku povrchu půdy v době vegetačního klidu. Zabrání zarůstání povrchu plevelem a zredukuje vliv eroze (DAVIS a WHITING, 2013).

5.1.3 Hnojiva ostatního původu

Hnojiva s kombinovaným původem organické hmoty dělíme na:

- kompost,
- digestát.

Kompost

Kompost je jedním z nejkvalitnějších druhů hnojiv. Jedná se o směsici organických zbytků a zeminy, ve které při správných podmínkách probíhají humosotvorné procesy. Pro průběh těchto procesů je důležité časté kypření a prohazování kompostové hromady tak, aby docházelo k prokysličení celé masy. Další potřebné podmínky jsou: vhodný poměr uhlíku a dusíku (20-30:1), dostatečná vlhkost a homogenita kompostové masy. Dostatečné teploty pro ideální rozklad organických látek a likvidaci plevelů a patogenů (50–63 °C) dosahují samotní mikrobiální organismy obsažené ve směsi (RICHTER, et al., 2002).

Digestát

Pro fermentaci v bioplynových stanicích je možné využívat skoro jakoukoliv organickou hmotu (plodiny z rostlinné produkce, lesní biomasu, kaly z čistíren, kejda, nebo odpadní oleje). Digestát je sekundární produkt. Složení digestátu a jeho vlastnosti jsou závislé na vstupních surovinách a průběhu fermentace. Po skončení procesu v bioplynové stanici se digestát dělí na pevnou část (separát) a tekutou část (fugát). Separát obsahuje vyšší množství organických látek, ale velmi malé množství živin. Fugát je velmi bohatý na dusík a využívá se jak pro zapravení do půdy, ale taktéž jako postřik na zatrávněné louky. Fugát obsahuje vedle velkého množství dusíku také velké množství soli, proto se doporučuje střídání i jiných druhů hnojiv (PANUCCIO, et al., 2019).

5.2 Průmyslová hnojiva

Průmyslová, nebo také minerální hnojiva se aplikují výhradně jako výživa rostlin ve formě dusíku, draslíku a fosforu. Oproti aplikaci organických hnojiv je potřeba znát aktuální chemické podmínky půdy. Důležité u aplikace průmyslových hnojiv je také dodržení agronomických termínů u jednotlivých rostlin tak, aby docházelo k tíženému efektu hnojiva (KUNZOVÁ, 2009).

Průmyslová, minerální hnojiva se dělí podle hlavní aktivní látky obsažené v hnojivu na:

- dusíkatá,
- fosforečná,
- draselná,
- vápenatá,
- vícesložková.

Dusíkatá hnojiva

Dusík je jeden ze základních prvků pro tvorbu bílkoviny. K rostlinám se dodává ve formě kombinací s dalšími prvky, které regulují jeho účinnost. Hlavním prvkem bývá dusičnan amonný, který kombinuje postupné uvolňování amoniaku a rychlý účinek dusičnanů. Dusičnan amonný se dále kombinuje se sírou (obohacení půdy o síru a snížení pH), s vápencem (zvýšení pH půdy) a s močovinou, která prodlužuje účinnost.

Fosforečná hnojiva

Fosforečná hnojiva jsou dodávána do půdy v kapalném stavu. Fosfor dopomáhá rostlině k nasazení květu, přispívá k tvorbě pevného pletiva a urychluje zrání.

Draselná hnojiva

Obdobně jako fosfor je draslík v půdě obsažen v nerozpustitelném stavu. Kvůli aplikaci draselných hnojiv ve vysokých dávkách může docházet k zasolování půdy. To vede ke ztrátě schopnosti absorpce vody do půdy. Společně s draslíkem je možné dodávat do půdy i další potřebné prvky jako chlór, síra a hořčík.

Vápenatá hnojiva

Aplikace vápenatých hnojiv nemá za primární úkol dodávání živin rostlinám, ale redukovat pH půdy. Z důvodu samovolného okyselování půdy kvůli vyplavování zásaditých iontů vodou je potřeba redukce pH zásaditými hnojivy v cyklech opakujících se jednou za 4-6 let.

Vícesložková hnojiva

Pro jednodušší manipulaci a aplikaci hnojiv je většina zmíněných hnojiv dodávána ve sloučené podobě s danými vzájemnými poměry.

6. Vliv organické hmoty v půdě na erozi

Vliv organické hmoty v půdě spočívá na jeho dodané kvalitě, množství způsobu zpracování. Jak už bylo zmíněno, organická hmota může být dodána do půdy ve formě chlévského hnoje, kejdy, kompostu anebo digestátu. Při delší absenci dodávání organických hnojiv do půdy dochází k její degradaci půdy, což se projeví úrodností půdy. Při dlouhodobém užívání pouze minerálních hnojiv dochází k pomalému úbytku na výnosech.

Organický materiál v půdě velmi kladně ovlivňuje vlastnosti půdy. Zlepšuje schopnost absorbovat a udržet vodu, tvorbu půdního agregátu, využití živin a snáze odolávat tepelným výkyvům. Pravidelně obohacovaná půda organickými hnojivy na sebe daleko lépe váže živiny a zabraňuje jejich vyplavování.

Pokud ztráty organické hmoty vlivem mineralizace překročí příjem, tak dochází k degradaci půdy. Nedostatek organické hmoty se v půdě nejvýznamněji projeví při působení eroze.

7. Cíl práce

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnocení výsledků polního pokusu, který se zabýval zkoumáním vlivu různých druhů organických hnojiv na vodní eroze v porostu kukuřice. Z tohoto důvodu byl založen polní pokus, na kterém byla zkoumaná plocha rozdělena do několika pokusných parcelek podle druhu a dávky aplikovaného organického hnojiva.

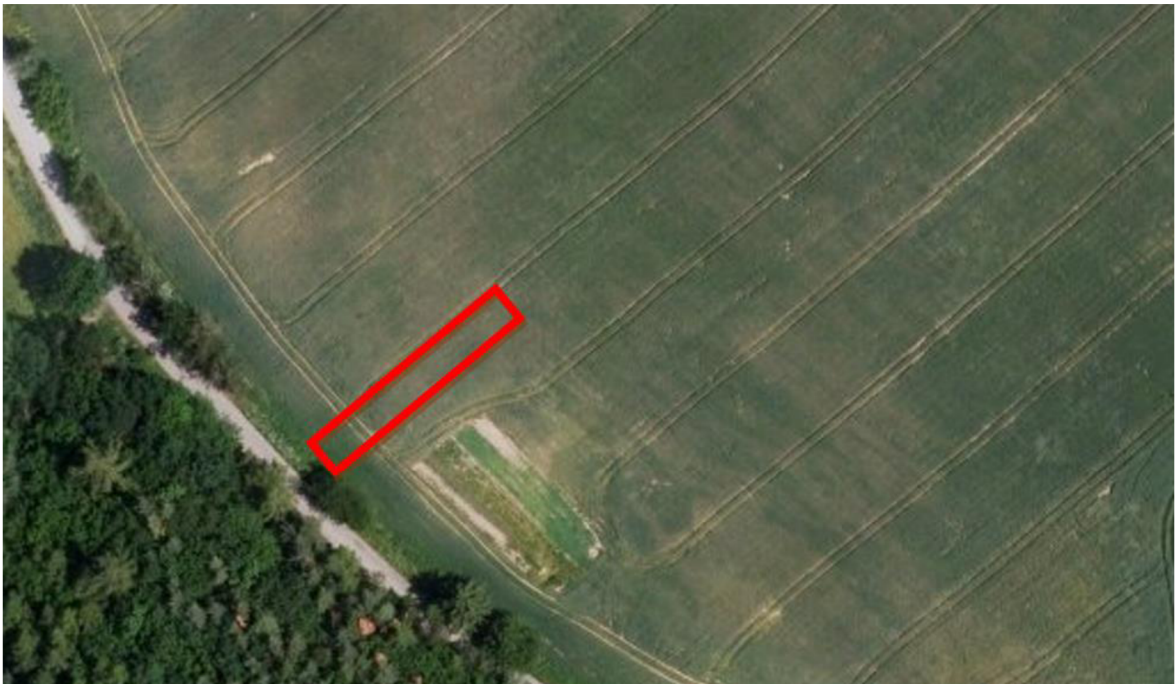
7.1 Předpokládané výsledky

Na základě zpracované literární rešerše lze uvažovat zlepšení vlastností půdy v závislosti na dávce organického hnojiva. Předpokládá se zlepšení infiltrace vody do půdy a zmírnění půdního smyvu.

8. Metodika a polní pokus

Pro vyhodnocení experimentu, který se zabýval vlivem organických hnojiv na produkčních schopnostech kukuřice a protierozivních schopnostech porostu kukuřice, byl založen polní pokus. Tento polní pokus byl založen v blízkosti obce Nesperská Lhota (GPS 49,6904063 N[°]; 14,8134006 E[°]). Přesné umístění pokusu je znázorněno na obrázku č. 3. Pozemek se nachází v nadmořské výšce 447 m a s průměrným sklonem 5,29°.

Obr. č. 3: Lokalita pokusu na pozemku.



Na základě zkoumání fyzikálních vlastností půdy pomocí aplikované metody Kopeckého válečků je půda na pozemku standardního orebního druhu. Jako předplodina v místě polního pokusu byla sklizena pšenice ozimá. Půda byla následně zpracovaná na podzim orbou do hloubky 0,2 m a na jaře byla provedena příprava pomocí smyků a hřebenových bran. Lokalita pokusu byla rozdělena do 7 experimentálních parcel o sklonu 4,5-8,7°. Velikost experimentálních parcel byla stanovena na 3x3 m. Pro experiment byla zvolena organická hnojiva (hnůj, digestát, kompost) viz obrázek č. 4.

Obr. č. 4: Pokusné parcelky s aplikovanými organickými hnojivy.



Druhy a velikost dávky aplikovaných organických hnojiv jsou znázorněny v tabulce č. 1.

Tab. č. 1: Druh a dávka organického hnojiva na jednotlivých parcelkách.

Parcelka	Hnojivo	Dávka hnojiva [$t \cdot ha^{-1}$]
1	Hnůj	40
2	Hnůj	200
3	Digestát	40
4	Digestát	200
5	Kompost	40
6	Kompost	200
7	Bez hnojiva	0

Velikost dávky organických hnojiv byla zvolená reálná (40 t/ha) a extrémní, nereálná (200 t/ha). Velký rozdíl v dávkách byl volen pro možnost snazšího posouzení vlivu množství organických hnojiv na erozi v porostu kukuřice.

V tabulce č. 2 jsou zaznamenány vlastnosti hnojiv, které byly určeny ze vzorků vyhodnocených laboratorní analýzou podle normy na komposty ČSN 46 5735.

Tab. č. 2: Vlastnosti organických hnojiv.

Hnojivo	Hnůj	Digestát	Kompost
Sušina [%]	6,18	22,58	32,88
Ct v sušině [%]	38,27	37,79	23,65
N v sušině [%]	16,021	2,341	1,829

Přesný prvkový rozbor organických hnojiv byl proveden za pomoci rentgenové pistolky Niton XL 3t. Výsledky rozboru jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Tab. č. 3: Hodnoty množství vybraných prvků použitých organických hnojiv.

Prvky	Hnůj	Digestát	Kompost
Zn	44.39	8.15	46.8
Cu	11.02	9.95	6.97
Ni	22.39	20.93	10.43
Co	26.33	19.76	
Fe	990.42	144.03	992.12
Mn	95.12	54.1	
Cr	16.19	14.93	15.55
Ti	14.14	33.33	
Ca	3128.36	1837.28	
K	5925.96	4047.01	
Al	108.9	200.09	
P	1545.63	1010.94	
Si	1710.56	3088.32	
Cl	965.93	1013.29	
S	1137.55	556.22	1799.46
Mg	776.06	604.39	
MgO			44.35
P ₂ O ₅			1429.91
K ₂ O			8605.75

Zapravení organických hnojiv bylo provedeno radličkovým kypříčem Kromexim. Pojezdová rychlost při zapravení byla 12 ± 0.2 km/h s nastavenou hloubkou zpracování 15 cm. Zapravení hnojiv proběhlo 2-6 hodin od aplikace.

Pro pokus byl vybrán středně raný hybrid kukuřice KWS. Na obrázku č. 5 je znázorněno ruční setí, které proběhlo 11. května 2022 s plošnou hustotou 80 000 semen na hektar s hloubkou setí 50 mm, mezerou mezi semeny v řádku 17 cm a meziřádkovou vzdáleností 60 cm.

Obr. č. 5: Ruční setí hybridu kukuřice KWS.



Z důvodu lepšího vzcházení rostlin kukuřice byl povrch pokusných parcel ukálen cambridgeskými válci. Po zasetí proběhla aplikace herbicidu Akris v dávce $2 \text{ dm}^3/\text{ha}$. Akris je selektivní herbicid působící na plevel preemergentně přes půdu a postemergentně přes list. V průběhu vegetace bylo u jednotlivých rostlin měřeno ozelenění chlorofylmetrem SPAD-502 Plus. Tento ruční snímač vypočítává hodnotu SPAD, číselné vyjádření vztahu spektrální absorpce ve dvou oblastech elektromagnetického spektra – v červeném pásmu (600–700 nm) jako jeden z vrcholů absorpce chlorofylu a v blízkém infračerveném pásmu (700–1400 nm).

Po vyklíčení porostu kukuřice byly do meziřádkového prostoru instalované měřicí odtokové mikroparcelky. Na každou zkoumanou variantu byly nainstalovány tři odtokové mikroparcelky pro eliminaci statistických chyb. Odtokové mikroparcelky jsou ohraničeny plechem o tloušťce 1,5 mm. Plech je z části zapuštěn do země tak, aby nedocházelo k ovlivnění naměřených výsledků okolím. Hrana mikroparcelky je zapuštěna 0,08 m do země a 0,04 m přesahuje nad zem. Vnitřní zkoumaná plocha mikroparcelky je 0,16 m². Odtoková voda z mikroparcelky je odvedena do kolektoru, který následně svádí vodu do předem zakopané sběrné plastové nádoby (kanystr o objemu 10 dm³). Způsob měření pomocí mikroparcelek je obdobný jako u Hudsona (1993), nebo Hůly et al. (2010).

Obr. č. 6: Umístění odtokových mikroparcelek se záchytnou plochou 0,16 m².



Kontrolní měření dešťových srážek bylo prováděno v blízkosti polního pokusu za pomoci meteostanice Vantage Vue. Příklad modelu je uveden na obrázku č. 7. Meteostanice zaznamenávala v době polního pokusu jak úhrn srážek, tak i jejich intenzitu. K ukládání zaznamenaných dat docházelo pouze po dešťových srážkách, které erozivně ohrožovaly povrch půdy.

Obr. č. 7: Využívaná meteostanice Vantage Vue.



Zdroj: <https://www.conrad.cz/p/davis-instruments-vantage-vue-dav-6250eu-digitalni-bezdratova-meteostanice-672549>

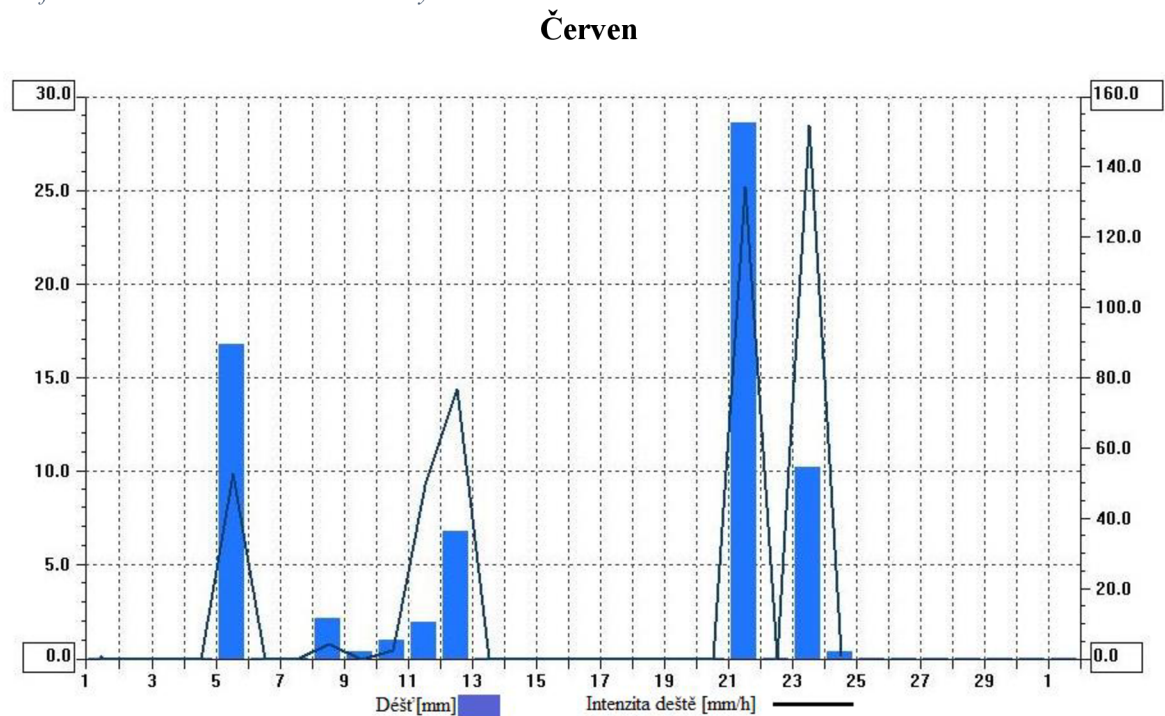
Kontrola a měření dat úhrnu srážek a množství sedimentu zachycených pomocí odtokových mikroparcelek ve sběrných nádobách probíhalo bezprostředně po skončení dešťových srážek erozivně ohrožujících povrch půdy. Objem povrchového odtoku zachycený v nádržích se měřil pomocí odměrných válců. Množství obsaženého sedimentu se zjistilo následnou filtrací zachyceného povrchového odtoku. Konečné odečtení hmotnosti zachycené zeminy lze stanovit až po vysušení při 105 °C.

9. Výsledky měření

9.1 Meteorologické podmínky

Meteorologické údaje v této části jsou výsledkem měření meteorologické stanice Vantage Vue umístěné v bezprostřední blízkosti pozemku s pokusem. Na grafu č. 1 je vidět záznam hodnot srážek a jejich intenzity z června. Během června byly hodnoceny tři erozní události, a to bouřka na začátku června, dále dva přívalové deště z třetí dekády června.

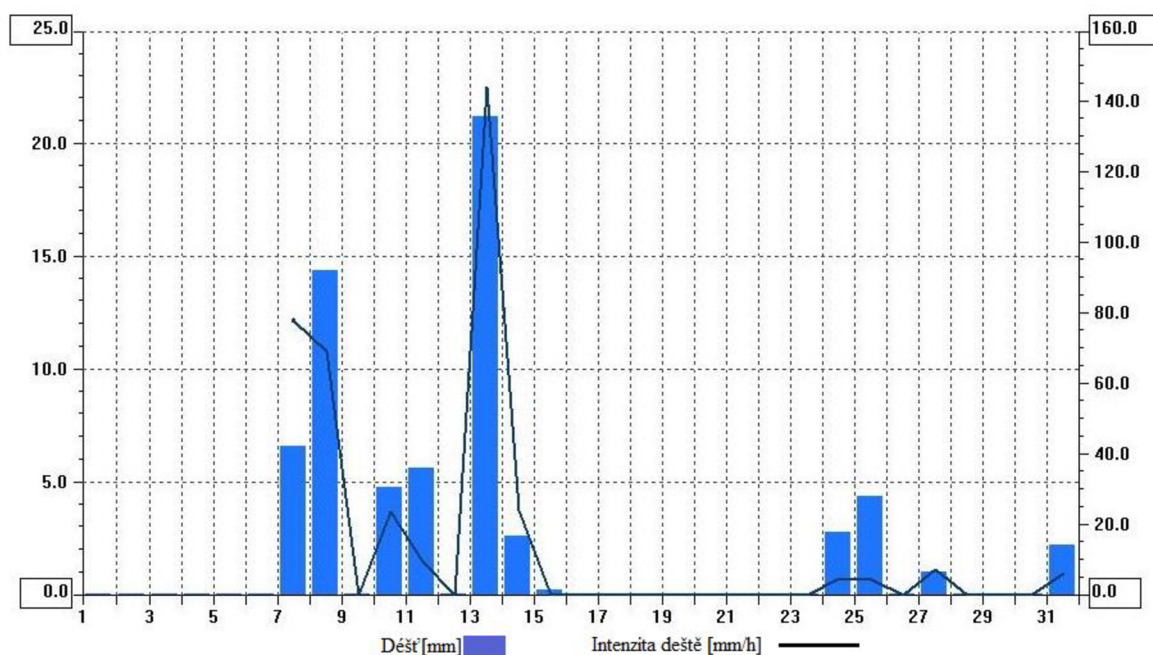
Graf č. 1: Záznam hodnot srážek a intenzity deště v červnu.



Na grafu č. 2 je vidět úhrn srážek a jejich intenzita v červenci. Během července byly hodnoceny dvě události. Bouřka s následným deštěm v první dekádě července a dále prudká bouřka v polovině měsíce. Během ostatních srážek nebylo možné pokus hodnotit z důvodu příliš malého povrchového odtoku.

Graf č. 2: Záznam srážek a intenzity deště v červenci.

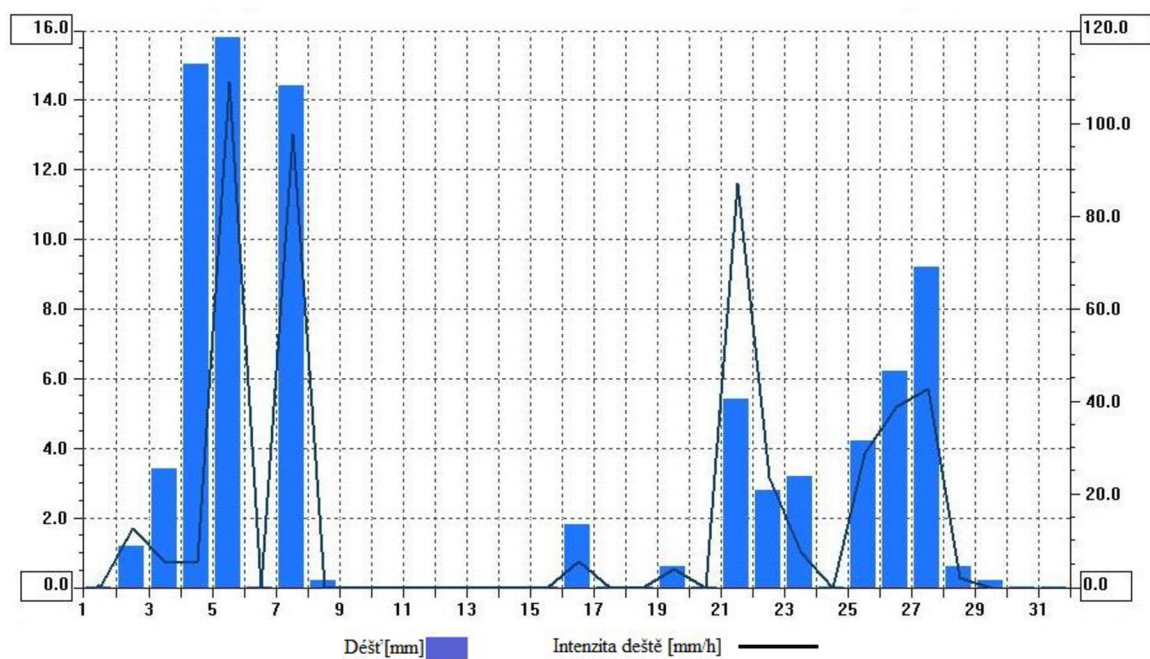
Červenec



V následujícím grafu č. 3 je záznam srážek ze srpna – posledního měsíce pokusu. Za srpen byly hodnoceny dvě události. Přívalové deště 4.-5. srpna a dále prudká srážka z 8.8. Obě tyto události se vyznačovaly vysokou intenzitou deště.

Graf č. 3: Záznam srážek a intenzity deště v srpnu.

Srpen

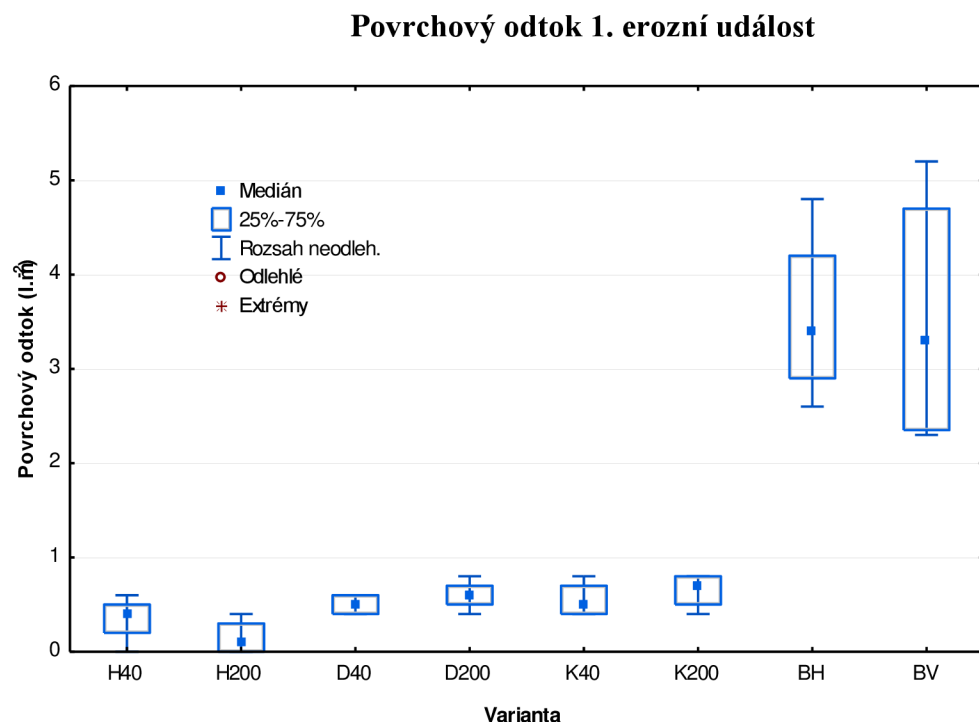


9.2 Hodnocené erozní události

První erozní událost

První zaznamenanou událostí byla bouřka na začátku června. Celkový úhrn srážek činil 17 mm. Jednalo se o prudší srážku s krátkodobou intenzitou až 50 mm.h^{-1} . Na grafu č. 4 je vidět povrchový odtok jednotlivých variant. Z grafu je patrná silná funkce organických hnojiv na infiltraci vody do půdy. Poměrně překvapivý je účinek digestátu, zejména ve vyšší dávce. Digestát někdy bývá označován jako původce „zalepení“ porů v půdě. To nelze v našem případě prokázat. Vliv zřejmě měla i písčité půda na pozemku, která tomuto jevu aktivně zabránila. Rovněž jsou patrné malé rozdíly mezi dávkami hnojiv. Je pravda, že nejúčinněji působila varianta H200, avšak rozdíl není příliš velký. Minimální rozdíl byl vidět mezi variantami bez hnojení a bez výsevu (černý úhor). To není nijak překvapivé – porost v této době byl v nízké vývojové fázi a neměl na událost zásadní vliv. Navíc mikroparcelky jsou primárně umístěny v meziřadí, což vliv vegetace částečně potlačuje.

Graf č. 4: Povrchový odtok všech variant po první erozní události.

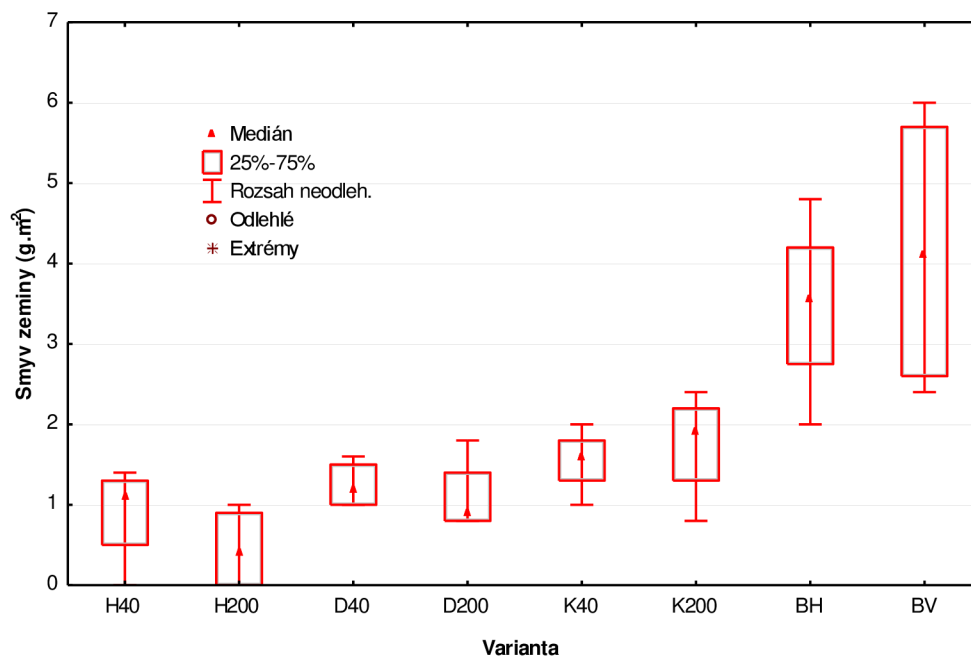


Na grafu č. 5 je vidět smyv zeminy pro jednotlivé varianty. V grafu jsou patrné rozdíly mezi jednotlivými variantami. Rozdíly jsou menší než v případě povrchového odtoku, avšak základní trend zůstal zachován. Vzhledem k poměrně nízkému úhrnu srážek

jsou i celkové úhrny smyvu půdy poměrně nízké. Nelze pozorovat ani odplavování makro částic hnojiv z povrchové a podpovrchové vrstvy půdy. Ztráta půdy tak byla nejvyšší v posledních dvou variantách.

Graf č. 5: Smyv zeminy všech variant po první erozní události.

Smyv zeminy 1. erozní událost



Mimo grafického zpracování byl proveden i Tukeyův post-hoc test (na hladině významnosti 0,05). Data jsou uvedena v tabulce č. 4. Data potvrzují závěry vyvozené z grafů. Odlišné chování lze pozorovat zejména u povrchového odtoku posledních dvou variant. To je prokázáno i statistickou významností této odchylky. Složitější situace panuje u smyvu zeminy. Avšak i zde trend zůstal částečně viditelný. Na hodnoty smyvu má vyšší účinek množství povrchového odtoku. Menší vliv je pak vyvozen samotnou variantou, resp. druhem a množstvím aplikovaného hnojiva.

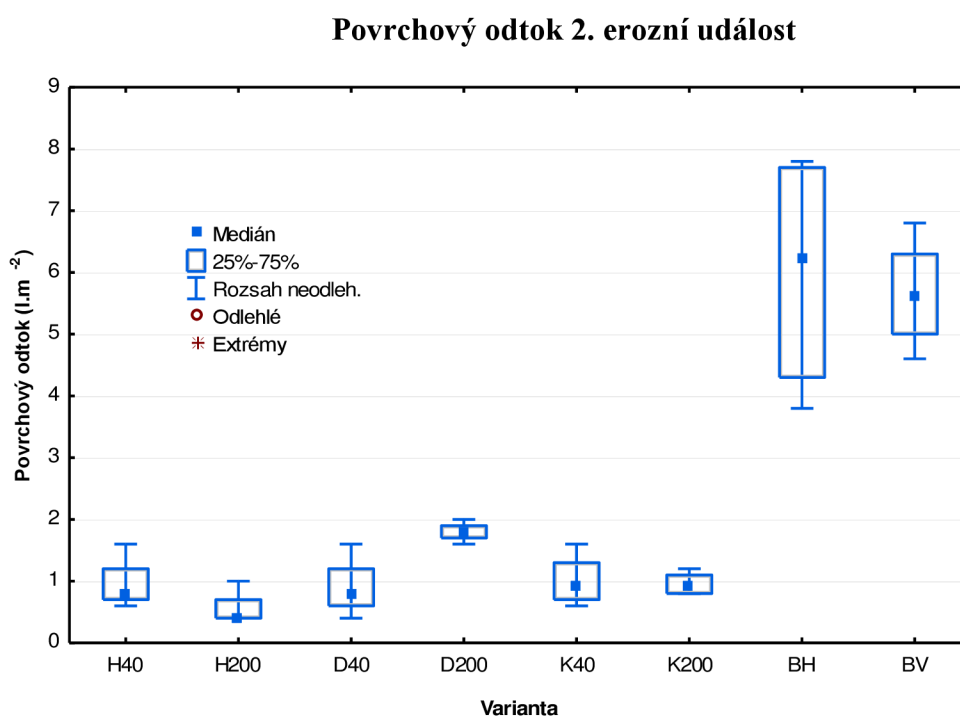
Tab. č. 4: Tukeyův post-hoc test k první erozní události.

Varianta	Povrchový odtok (l.m ⁻²) Průměr	1	2	Varianta	Smyv zeminy (g.m ⁻²) Průměr	1	2	3
H200	0.150000	****		H200	0.450000	****		
H40	0.350000	****		H40	0.900000	****		
D40	0.500000	****		D200	1.100000	****		
K40	0.550000	****		D40	1.250000	****		
D200	0.600000	****		K40	1.550000	****	****	
K200	0.650000	****		K200	1.750000	****	****	
BV	3.525000		****	BH	3.475000		****	****
BH	3.550000		****	BV	4.150000			****

Druhá erozní událost

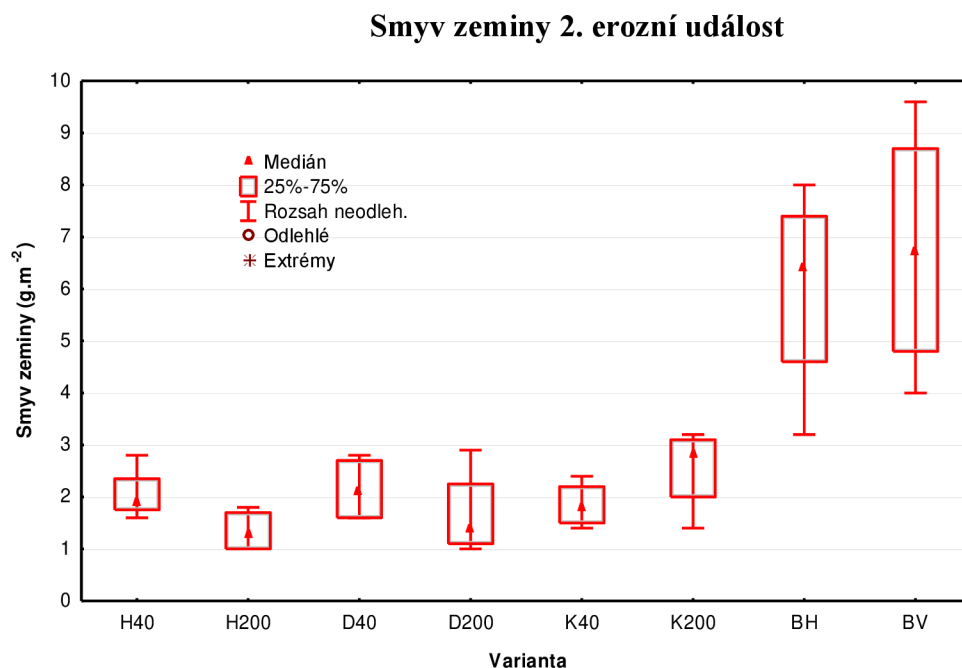
Druhá erozní událost nastala po velmi prudké bouři s intenzitou krátkodobě přesahující 100 mm.h^{-1} . Celkový úhrn srážek dosáhl 28 mm. Hodnoty povrchového odtoku viz graf č. 6 jsou v absolutní hodnotě vyšší než v předcházejícím případě. Trend měření je velmi podobný. Nejvyšší povrchový odtok byl zaznamenán u obou variant bez hnojiva. Vliv porostu je opět zanedbatelný. Zajímavý je i vyšší rozptyl těchto variant. Z hnojených variant nejvyšší hodnoty dosahuje varianta D200. To částečně potvrzuje domněnku o částečném zalepení pórů v půdě a zhoršení infiltrace. Avšak tento rozdíl je velmi malý.

Graf č. 6: Povrchový odtok všech variant po druhé erozní události.



Na grafu č. 7 je patrné, jak smyv zeminy v tomto případě zcela kopíruje průběh hodnot povrchového odtoku. To je opět poměrně překvapivé. V tomto případě lze konstatovat, že dávka ani druh hnojiva nemá vliv na smyv zeminy. Samotný smyv je v tomto případě pouze funkcí povrchového odtoku. Rozdíly však v absolutním vyjádření nejsou vysoké, jako byly původní předpoklady.

Graf č. 7: Smyv zeminy všech variant po druhé erozní události.



Tabulka č. 5 potvrzuje závěry z hodnot ve grafech. Statisticky významné rozdíly lze najít pouze mezi hnojenými a nehnojenými variantami. V případě povrchového odtoku to odpovídá vstupním hypotézám. V případě smyvu zeminy již tolik ne.

Tab. č. 5: Tukeyův post-hoc test k druhé erozní události.

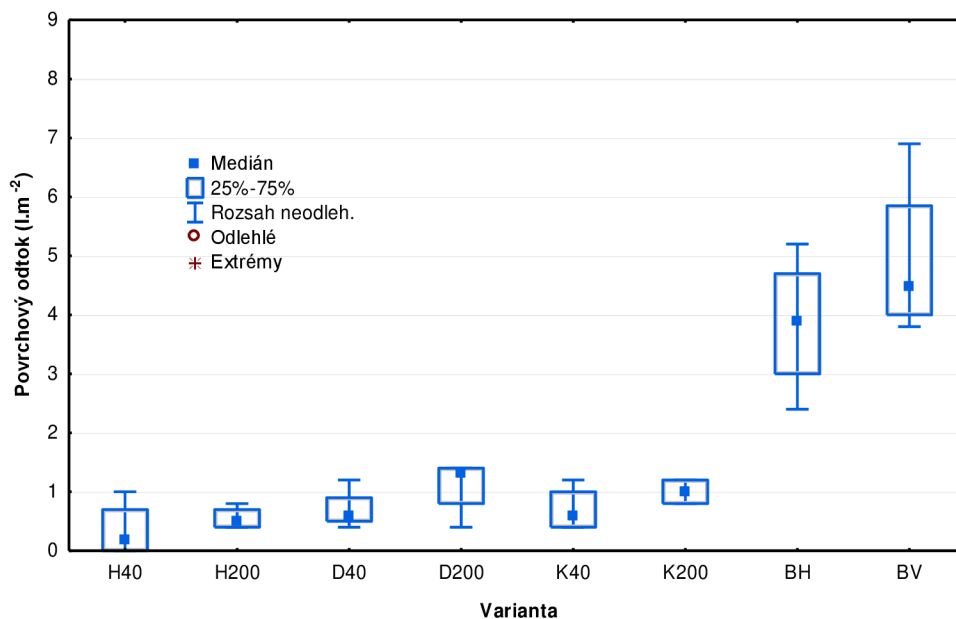
Varianta	Povrchový odtok (l.m ⁻²) Průměr	1	2	Varianta	Smyv zeminy (g.m ⁻²) Průměr	1	2
H200	0.550000	****		H200	1.350000	****	
D40	0.900000	****		D200	1.675000	****	
K200	0.950000	****		K40	1.850000	****	
H40	0.950000	****		H40	2.050000	****	
K40	1.000000	****		D40	2.150000	****	
D200	1.800000	****		K200	2.550000	****	
BV	5.650000		****	BH	6.000000		****
BH	6.000000		****	BV	6.750000		****

Třetí erozní událost

Třetí erozní událost byla zachycena po rychlé bouřkové přeháňce. Úhrn srážek činil pouze 11 mm. Avšak kapky dopadaly pouze asi 5 minut. Intenzita tak byla opětovně velmi vysoká. Hodnoty jsou důkazem, že krátké bouřky s nevelkým úhrnem srážek, avšak vysokou intenzitou, představují pro půdu zásadní ohrožení. I takto nevelká srážka způsobila významný povrchový odtok. Větší dešťové srážky s nízkou intenzitou se během sezony naopak plně vsakovaly. Graf č. 8 potvrzuje, že pro vyvolání povrchového odtoku je důležitějším parametrem intenzita srážky než její úhrn. Měření kopírovalo trend nastavený na začátku sezony.

Graf č. 8: Povrchový odtok všech variant po třetí erozní události.

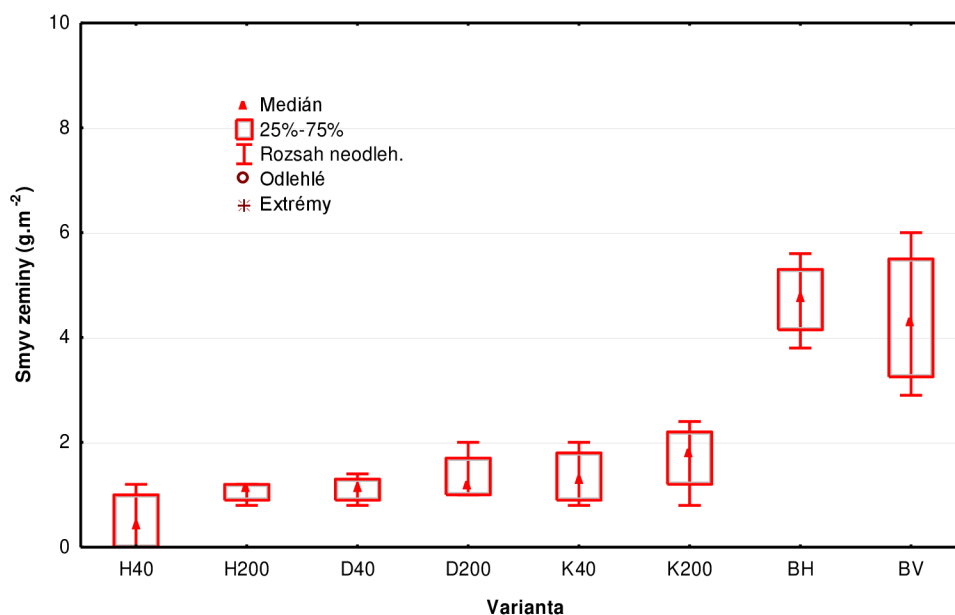
Povrchový odtok 3. erozní událost



V grafu č. 8 dosáhl smyv zeminy pro tuto erozní událost poměrně vysokých hodnot vzhledem k úhrnu srážek. To bylo způsobeno vysokou kinetickou energií dopadajících kapek, které vytrhávaly z povrchu půdní částice. Toto tvrzení je prokázáno právě shodným trendem s průběhem povrchového odtoku. Samotná varianta tak neměla na smyv zeminy v tomto případě vliv.

Graf č. 9: Smyv zeminy všech variant po třetí erozní události.

Smyv zeminy 3. erozní událost



Závěry jsou potvrzeny i provedeným Tukeyovým testem viz tabulka č. 6. V obou případech byly hodnoty rozděleny do dvou homogenních skupin, tj. hnojené a nehnojené varianty. Lze tedy konstatovat, že povrchový odtok je výrazně ovlivněn hnojením, smyv zeminy pak téměř vůbec.

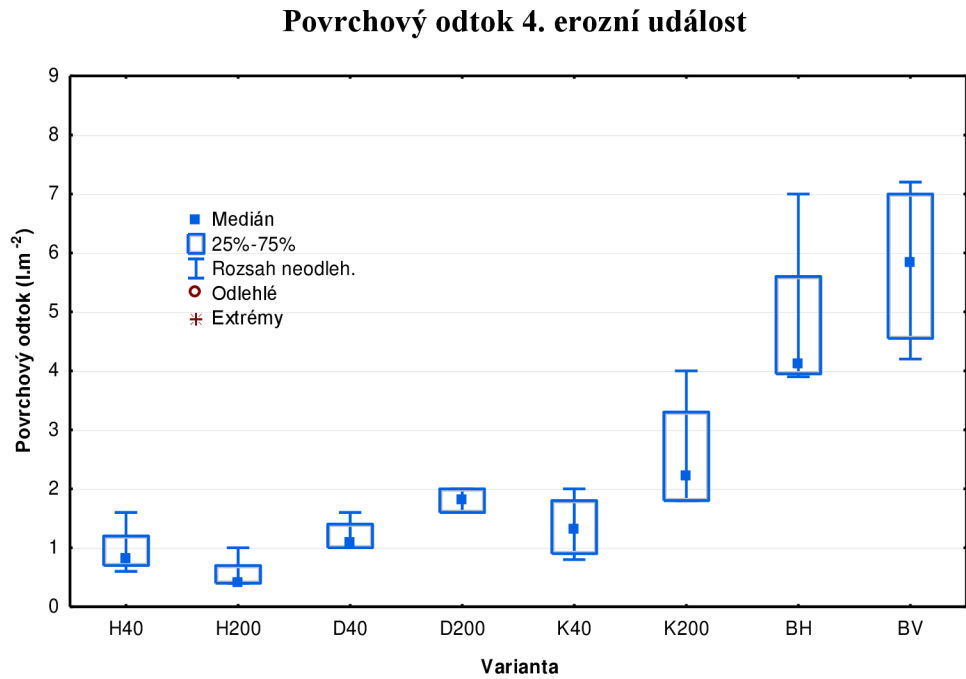
Tab. č. 6: Tukeyův post-hoc test k třetí erozní události.

Varianta	Povrchový odtok (l.m ⁻²) Průměr	1	2	Varianta	Smyv zeminy (g.m ⁻²) Průměr	1	2
H40	0.350000	****		H40	0.500000	****	
H200	0.550000	****		H200	1.050000	****	
D40	0.700000	****		D40	1.100000	****	
K40	0.700000	****		K40	1.350000	****	
K200	1.000000	****		D200	1.350000	****	
D200	1.100000	****		K200	1.700000	****	
BH	3.850000		****	BV	4.375000		****
BV	4.925000		****	BH	4.725000		****

Čtvrtá erozní událost

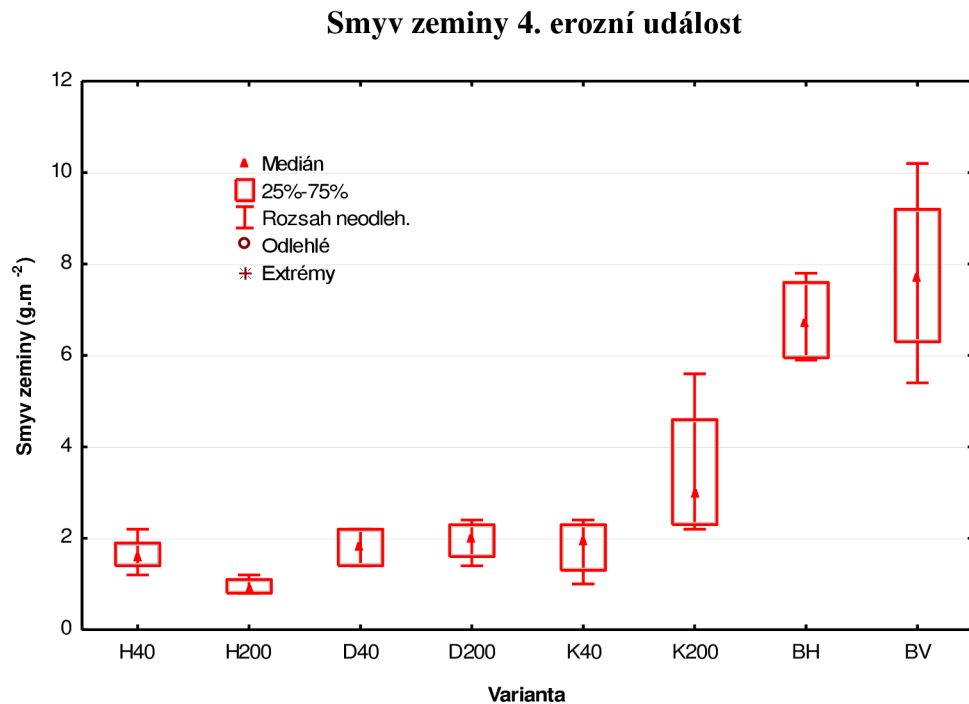
Čtvrtá erozní událost byla způsobena opět bouřkou. Intenzita srážek byla o něco nižší než v předchozím případě. Po bouřce následoval déšť. Úhrn srážek dosáhl 21 mm. Z grafu č. 10 je patrné, že dochází k pomalému přibližování hodnot. Odeznívá tedy efekt hnojení, či spíše povrch půdy přirozeně sesedá, a navíc dochází k časté tvorbě půdní krusty. To je v tomto období typické a nelze to považovat za ojedinělý jev. Zajímavé jsou poměrně vysoké hodnoty varianty K200. Sice se vyznačují i vysokým rozptylem hodnot, avšak přesto jdou proti původním hypotézám.

Graf č. 10: Povrchový odtok všech variant po čtvrté erozní události.



Smyv zeminy nevykázal žádná překvapivá data viz graf č. 11. Opět trendově zcela kopíruje hodnoty povrchového odtoku. Vzhledem k tomu, že pro půdu samotnou je smyv zeminy problematictější děj než povrchový odtok, je nutné konstatovat, že základním půdoochranným opatřením je i snížení povrchového odtoku bez ohledu na stav povrchu.

Graf č. 11: Smyv zeminy všech variant po čtvrté erozní události.



Test statistické významnosti v tabulce č. 7 potvrdil trend přibližování hodnot. Ty jsou ještě sice nad hranicí statistické významnosti, avšak rozdíly se s časem zmenšují. Rozdíly byly opětovně zaznamenány mezi hnojenými a nehnojenými variantami.

Tab. č. 7: Tukeyův post-hoc test k čtvrté erozní události.

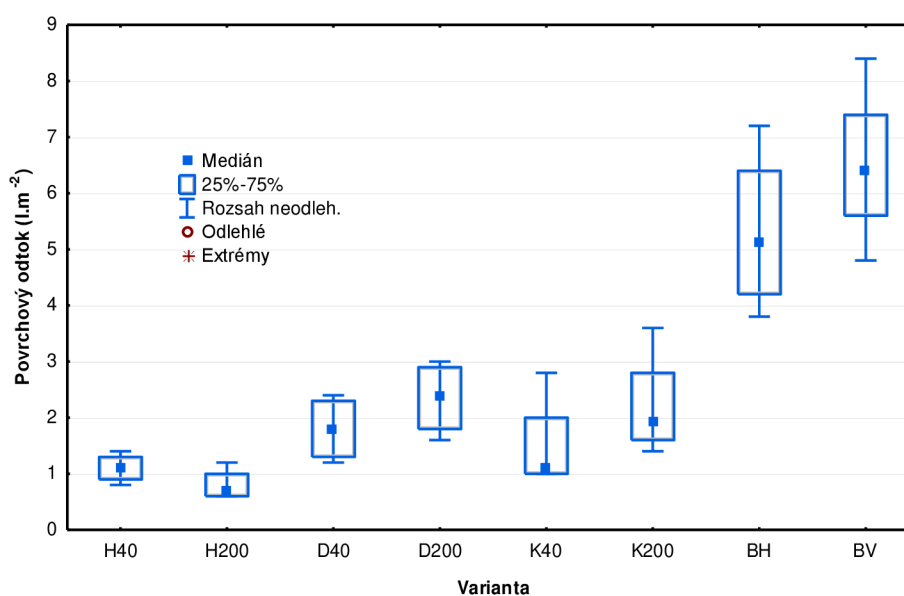
Varianta	Povrchový odtok (l.m ⁻²) Průměr	1	2	Varianta	Smyv zeminy (g.m ⁻²) Průměr	1	2	3
H200	0.550000	****		H200	0.950000	****		
H40	0.950000	****		H40	1.650000	****	****	
D40	1.200000	****		K40	1.800000	****	****	
K40	1.350000	****		D40	1.800000	****	****	
D200	1.800000	****		D200	1.950000	****	****	
K200	2.550000	****		K200	3.450000		****	
BH	4.775000		****	BH	6.775000			****
BV	5.775000		****	BV	7.750000			****

Pátá erozní událost

Pátá erozní událost nastala v polovině července po prudké bouři s úhrnem srážek 24 mm. Intenzita deště byla velmi vysoká. Bouřku doprovázel i silný vítr. Došlo i k mírnému poškození okraje porostu. Hodnoty jsou uvedeny v grafu č. 12. Opět lze pozorovat snižování rozdílu mezi variantami. Co je však překvapivé, i poměrně vyvinutý porost kukuřice u varianty bez hnojení výrazněji neochraňoval půdu před povrchovým odtokem. Kapky poměrně snadno prolétávají meziřádkovým prostorem a působí intenzivně na povrch půdy. Trend měření je tedy velmi podobný tomu na počátku, kdy ovšem porost nebyl zdaleka tak vysoký, jako v tomto případě.

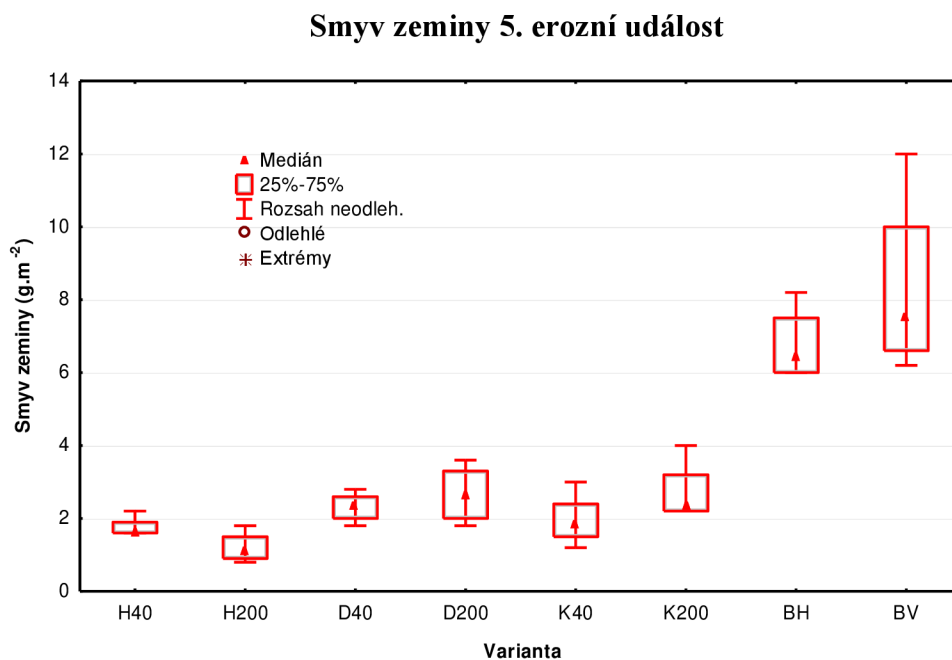
Graf č. 12: Povrchový odtok všech variant po páté erozní události.

Povrchový odtok 5. erozní událost



V grafu č. 13 je patrné, jak smyv zeminy nepřekvapivě kopíroval průběh povrchového odtoku. Stále tedy platí, že hnojivo a jeho dávka příliš neovlivňují smyv zeminy, ale pouze povrchový odtok. Stejně jako u povrchového odtoku nedochází k přílišnému snižování hodnot u varianty bez hnojení, která se stále chová velmi podobně jako černý úhor.

Graf č. 13: Smyv zeminy všech variant po páté erozní události.



Závěry vyvozené z grafů jsou potvrzeny i v tabulce č. 8. Opět lze najít pouze statisticky významné rozdíly mezi hnojenými a nehnojenými variantami.

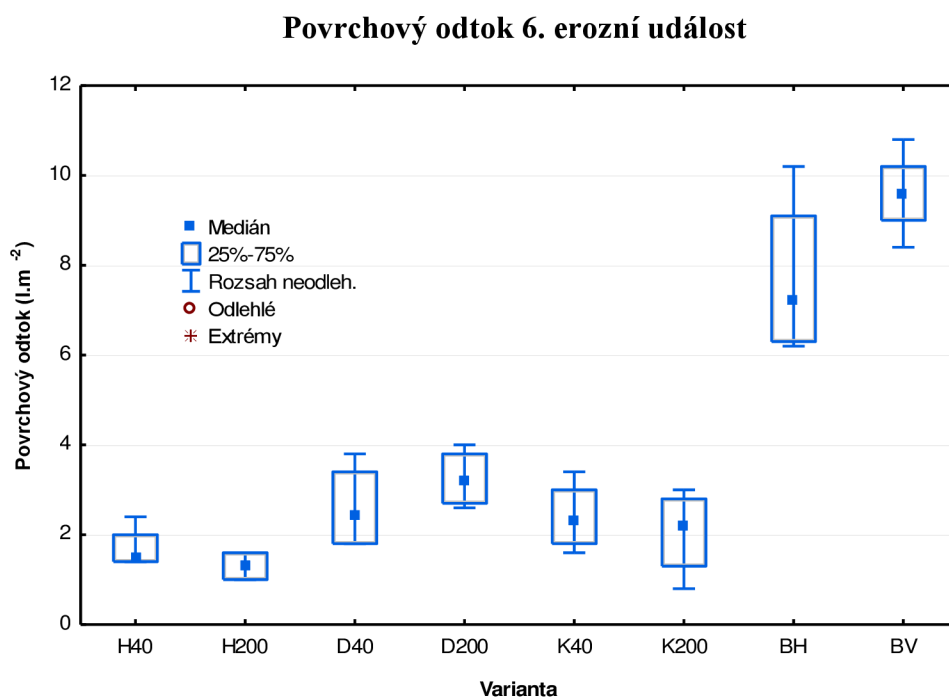
Tab. č. 8: Tukeyův post-hoc test k páté erozní události.

Varianta	Povrchový odtok (l.m ⁻²) Průměr	1	2	Varianta	Smyv zeminy (g.m ⁻²) Průměr	1	2
H200	0.800000	****		H200	1.200000	****	
H40	1.100000	****		H40	1.750000	****	
K40	1.500000	****		K40	1.950000	****	
D40	1.800000	****		D40	2.300000	****	
K200	2.200000	****		D200	2.650000	****	
D200	2.350000	****		K200	2.700000	****	
BH	5.300000		****	BH	6.750000		****
BV	6.500000		****	BV	8.300000		****

Šestá erozní událost

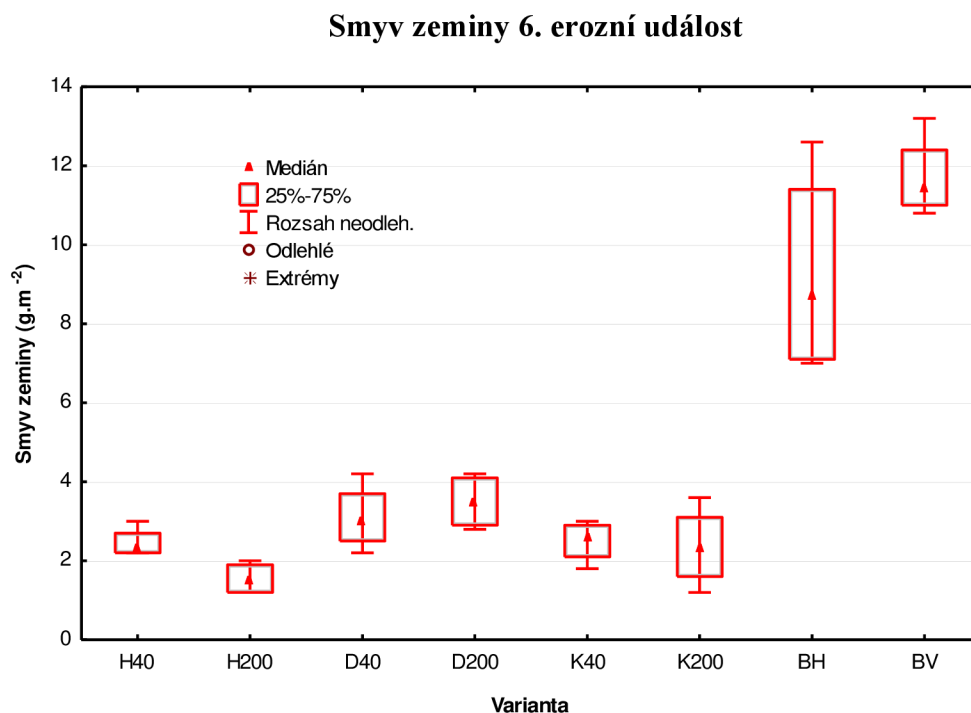
Předposlední erozní událost nastala po prudkém dešti na začátku srpna. Úhrn srážek přesáhl 30 mm. Jednalo se o přivalový déšť vysoké intenzity. Hodnoty jsou uvedeny v grafu č. 14. Obecně platí, že absolutní hodnoty povrchového odtoku jsou nižší (s ohledem na úhrn srážek), než v počátečním období pokusu. Avšak chování jednotlivých variant se příliš nezměnilo.

Graf č. 14: Povrchový odtok všech variant po šesté erozní události.



V grafu č. 15 smyv zeminy rovněž kopíroval nastavené trendy. Mírně klesají hodnoty u varianty BH, ale data vykazují větší rozptyl, proto nejde vyvodit jednoznačné závěry. Dlouhodobě nejlépe půdu chrání varianta H200. Je patrné, že částice hnoje zvyšují infiltraci vody do půdy zejména do podpovrchové vrstvy, čímž chrání půdu před odnosem částic povrchovým odtokem.

Graf č. 15: Smyv zeminy všech variant po šesté erozní události.



Závěry vyvozené z grafů jsou potvrzeny i v tabulce č. 9. Opět lze najít pouze statisticky významné rozdíly mezi hnojenými a nehnojenými variantami.

Tab. č. 9: Tukeyvův post-hoc test k šesté erozní události.

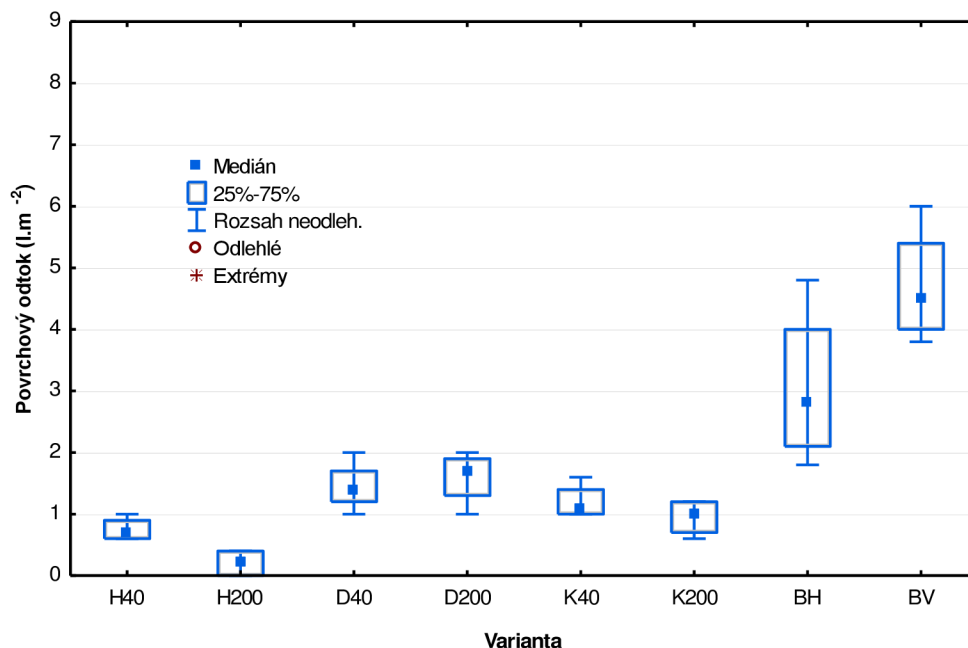
Varianta	Povrchový odtok (l.m ⁻²) Průměr	1	2	Varianta	Smyv zeminy (g.m ⁻²) Průměr	1	2
H200	1.300000	****		H200	1.550000	****	
H40	1.700000	****		K200	2.350000	****	
K200	2.050000	****		H40	2.450000	****	
K40	2.400000	****		K40	2.500000	****	
D40	2.600000	****		D40	3.100000	****	
D200	3.250000	****		D200	3.500000	****	
BH	7.700000		****	BH	9.250000		****
BV	9.600000		****	BV	11.700000		****

Sedmá erozní událost

Poslední erozní událost byla zachycena 8.8. Jednalo se o krátký přívalový déšť vysoké intenzity. Úhrn srážek činil 16 mm. Z hodnot povrchového odtoku v grafu č. 16 je vidět vzrůstající vliv porostu kukuřice na jeho hodnoty. To platí zejména u varianty BH. Zde i vlivem rychlého nárůstu biomasy kukuřice dochází k většímu pokrytí meziřádkového prostoru listy kukuřice a tím pádem i omezení erozního účinku dopadajících kapek.

Graf č. 16: Povrchový odtok všech variant po sedmé erozní události.

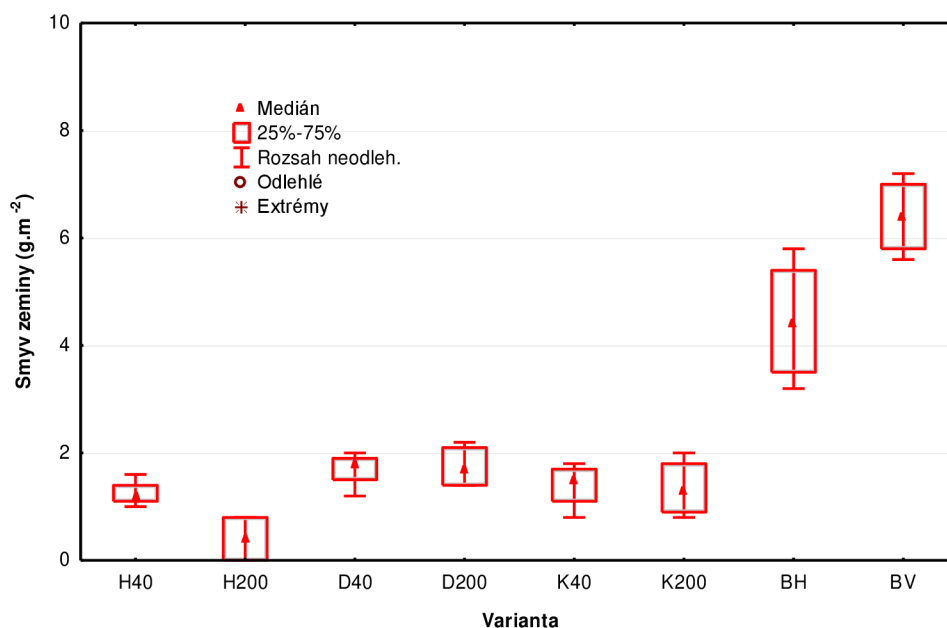
Povrchový odtok 7. erozní událost



Smyv zeminy rovněž navázal na trend zvětšování listové plochy, kdy se celkový erozní účinek postupně zmenšuje viz graf č. 17. Dopadající kapky tak nevytrhávají tak velký počet půdních částic jako v po založení pokusu. Vliv hraje i vyšší vlhkost porostu po předchozích deštích.

Graf č. 17: Smyv zeminy všech variant po sedmé erozní události.

Smyv zeminy 7. erozní událost



Ze statistického hodnocení je vidět potvrzení trendu ochrany půdy listy kukuřice. Avšak spoléhat se na tuto ochranu je velice krátkozraké, protože začala působit až ve vysokém vegetačním stádiu, navíc až na konci sezony přivalových dešťů. Celkově tak lze konstatovat, že organické hnojení výrazně mění a snižují erozní působení půdy. Avšak působí zejména vlivem snížení povrchového odtoku. Mechanismus účinku je tedy zcela opačný než u jiných protierozních opatření, kdy se spíše snižuje smyv zeminy i při vysokém povrchovém odtoku (odtéká pouze čistá voda).

Tab. č. 10: Tukeyův post-hoc test k sedmé erozní události.

Varianta	Povrchový odtok (l.m ⁻²) Průměr	1	2	3	Varianta	Smyv zeminy (g.m ⁻²) Průměr	1	2	3
H200	0.200000	****			H200	0.400000	****		
H40	0.750000	****			H40	1.250000	****		
K200	0.950000	****			K200	1.350000	****		
K40	1.200000	****			K40	1.400000	****		
D40	1.450000	****			D40	1.700000	****		
D200	1.600000	****	****		D200	1.750000	****		
BH	3.050000		****		BH	4.450000		****	
BV	4.700000			****	BV	6.400000			****

10. Diskuse

Výzkum velkých dávek organických hnojiv není zcela obvyklý. Běžně zkoumané dávky hnojiv jsou v nižších desítkách tun na hektar. To platí i v důsledku spíše obecného nedostatku hnojiv, který je vnímán celosvětově (Köninger et al., 2021). Naopak určité lokality mohou vykazovat přebytky aplikovatelných hnojiv např. v důsledku zvýšené koncentrace živočišné výroby. Veeramani et al. (2012) popisují všestranné benefity organického hnojení na půdní prostředí. Samozřejmě i aplikace hnojiv má svá úskalí. Popisována jsou například ohrožení spodních vod (Unc et al., 2004). Mezi nově popisovaná rizika a překvapivé souvislosti patří možné šíření antirezistentních bakterií z chovů drůbeže do půdního prostředí (Yang et al., 2014).

Provedený výzkum byl zaměřen na měření erozních parametrů půdy po aplikaci organických hnojiv. Podobným výzkumem se zabývali například Gilley et al. (1999). Ve své studii zjistily pokles povrchového odtoku při simulaci dešťové srážky simulátorem o desítky procent. Jednalo se o aplikaci v období relativně těsně před simulací. Výsledky korespondují s výsledky získané během vzniku této práce. Gilley et al. (1998) ve své předchozí studii popisují mírně odlišné chování aplikace kompostu od hnoje. Zejména popisují větší rozdíly v půdní struktuře, které ovlivňují výslednou infiltraci. Infiltrace je výrazně ovlivněna makročásticemi hnojiva, které slouží jako vedení vody do půdy. Výzkum byl veden v závislosti na dávce hnojiva na plochu, tedy podobně jako výzkum na lokalitě Nesperská Lhota.

S ohledem na infiltraci vody je často problematicky vnímána kejda nebo digestát, tedy kapalná organická hnojiva. Problematicky se chovají i čistírenské kaly (Ojeda et al., 2003). V našem případě byl použit digestát z bioplynové stanice. Očekáváno bylo výrazné snížení infiltračních schopností půdy, které se neprokázalo. Toto tvrzení naopak podporují například Launay et al. (2022). Provedený pokus mírně odporuje většinovému tvrzení o výrazném zalepení půdních pórů a tím snížení infiltrační schopnosti půdy. Tento trend byl mírně zachycen během některých erozních událostí, avšak nedosahoval statisticky významných hodnot.

Během sezony měření se postupně projevoval i vliv rostlin kukuřice. Obecně platí, že plodina se na pozemku chová jako pomyslný kryt půdy. Pokryv půdy plodinou samozřejmě ovlivňuje intenzitu vodní eroze. (Wischmeier a Smith, 1978). S parametry

plodin pracují i erozní modely. Vegetace funguje jako ochrana půdy před dopadem dešťových kapek, zpevnění půdy kořenovým systémem rostlin zejména v podpovrchových vrstvách, zvýšení infiltrační schopnosti půdy díky prorůstání kořenového systému a zlepšením fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy. Navíc kořenový systém některých rostlin dokáže rozrušit zhutnělou vrstvu půdy vzniklou zejména technogenním zhutněním (typicky to platí pro některé jeteloviny). Důležitou problematikou je výběr vhodné plodiny pro daný pozemek. Zachar (1970) stanovil ze sebraných údajů od autorů z celého světa, že např. hnojením půdy se mohou erozní ztráty snížit až 4,7krát, úpravou mikroreliefu až 30krát a volbou vhodné plodiny až 37 000krát. Stále tedy platí, že širokořádkové plodiny s pomalým vývojem jsou velkým ohrožením půdy, které se dá snížit vhodnou technologií, ale i například hnojením organickými hnojivy.

V druhé polovině vegetační doby byla zaznamenána postupná tvorba půdní krusty, zejména na variantách bez hnojení. To bývá spojeno zejména s povrchem půdy bez organické hmoty. Bradford et al. (1994) popisují zvýšené riziko vzniku půdní krusty při velkém povrchovém odtoku. Ten způsobí vyhlazení půdní struktury na povrchu a rychlý pokles pórovitosti v povrchové vrstvě půdy. Půdní krusta však nemusí vzniknout vždy (v každé sezoně na stejném stanovišti). Tvorba krusty je ovlivněna průběhem počasí – zejména srážkovou činností během každé sezony (Guan et al., 2021). Shipitalo et al. (2000) popisuje souvislost s obsahem půdního uhlíku. Ten je samozřejmě ovlivněn právě hnojením organickými hnojivy – samozřejmě i dalšími opatřeními a technologiemi. Výsledky ukázaly, že rozložení organické hmoty v půdním profilu je důležitější než celková hodnota půdního organického uhlíku v půdě. Tyto myšlenky lze dát plně do souvislosti s provedeným měřením na lokalitě Nesperská Lhota.

V závěru diskuse lze podotknout, že masivní aplikace vysokých dávek hnojiv není možná už z prostého důvodu nedostatku těchto hnojiv. Nicméně protierozní efekt nemusí být celoplošný. Toto opatření by bylo možné aplikovat například v rámci několika vrstevnicových pruhů na pozemku, kdy by tyto pruhy mohly sloužit jako zasakovací pásy s důrazem na omezení rizika nadměrného povrchového odtoku. Lokálně diferencované dávkování organických hnojiv zatím není v praxi rozšířeno ani zdaleka na takové úrovni, jako je tomu u průmyslových hnojiv. Avšak některé benefity mohou časem vést k rozšíření této technologie. Zde platí, že pro zobecnění těchto principů je třeba pokus zopakovat na lokalitách s rozdílnými půdními vlastnostmi, které se mohou chovat principiálně odlišně

11. Závěr

V návaznosti na stále vyšší nároky na roční výnosy s nižšími ztrátami z důvodu potřeby vyprodukovat větší množství potravy pro stále se rozrůstající populaci se hledají různé metody pro zamezení degradace půdy. Pro zamezení ztráty úrodnosti půdy je zkoumání vlivu organických hnojiv na vodní erozi na zemědělské půdě. Výzkum se provádí především pro vysoce ohrožené širokořádkové plodiny pěstované v mírných až příkrých svazích. I přes výsledky, které naznačují pozitivní vliv na schopnosti půdy infiltrovat vodu nejde uvažovat, že dojde k absolutnímu zamezení vlivu vodní eroze.

Součástí této diplomové práce je vyhodnocení jednoročního polního pokusu, který se zabýval zkoumáním vlivu vodní eroze na porost kukuřice. Mezi zkoumané parametry patřily aktuální hodnoty a intenzita srážek. Dále byl měřen povrchový odtok a smyv zeminy. Po vyhodnocení naměřených hodnot je možné uznat pozitivní vliv organických hnojiv na schopnost půdy odolávat erozním procesům. K výraznému zlepšení infiltrace vody docházelo už i při nižší standardní dávce organických hnojiv. Pro založení polního pokusu byly vybrány tři druhy organických hnojiv. Jednalo se o hnůj, digestát a kompost.

Už před zahájením polního pokusu a samotného měření bylo možné předpokládat pozitivní vliv organických hnojiv na půdu jako protierozní ochrana. Tato myšlenka se v průběhu měření potvrdila. Nejvíce bylo možné pozorovat rozdíly na začátku pokusu, kdy na povrchu stále nevznikla půdní krusta a také nedocházelo k ovlivnění vegetací. V pozdější části pokusu, kdy porost kukuřice nabral na objemu, začaly listy rostlin fungovat jako ochrana a brzdily velké vodní kapky letních bouří.

Na základě vyhodnocení měření je možné vidět, že hnůj dopadl nejlépe. Mírným překvapením bylo u variant digestátu a kompostu s dávkou 200 t/ha. U digestátu se předpokládá, že došlo k částečnému zalepení půdních pórů, což snížilo schopnost půdy infiltrovat vodu. Kompost infiltroval vodu hůře než varianty s hnojem. To je pravděpodobně dáno absencí větších makročástic.

Vliv vodní eroze bude aktuální i v budoucnu. S častějším trendem, kdy se letní deště vyskytují pouze v podobě intenzivních, přívalových srážek, bude kladen důraz na ochranu půdy před smyvem jemných půdních částic a následné degradaci půdy. Do budoucna bude potřeba doplňovat organickou složku v půdě pro zlepšení půdních vlastností, ale také aplikovat další protierozní opatření pro zvýšení ochran půdy.

12. Literatura

- BLANCO, H., LAL, R.: *Principles of soil conservation and management*. New York: Springer, 2008.
- BRADFORD, J. M., et al.: *Interrill soil erosion as affected by tillage and residue cover*. Soil and tillage Research, 1994.
- BRADY, N.C., WEIL, R.R.: *The nature and properties of soils*. 12th ed. Prentice Hall Inc., New Jersey, USA, 1999.
- DAVIS, J. G., WHITING, D.: *Choosing a soil amendment*. 2013.
- DIVIŠ, J., et al.: *Pěstování rostlin*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2010.
- GHOSAL, K., DAS BHATTACHARYA, S.: *A review of RUSLE model*. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2020.
- GILLEY, E., et al.: *Runoff and erosion following field application of beef cattle manure and compost*. Transactions of the ASAE, 1998.
- GILLEY, E., et al.: *Runoff and erosion from interrill areas as affected by the application of manure*. 1999.
- GUAN, Ch., et al.: *Effects of warming and rainfall pulses on soil respiration in a biological soil crust-dominated desert ecosystem*. Geoderma, 2021.
- HAMMEROVÁ, A., et al.: *Rizika pěstování cukrové řepy na půdě ohrožené erozí*. Listy Cukrovarnické a Řepářské, 2016.
- HOLÝ, M.: *Eroze a životní prostředí*. Praha: ČVUT, 1994.
- HOLÝ, M.: *Protierozní ochrana*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1978.
- HUDSON, N.: *Field measurement of soil erosion and runoff*. Food & Agriculture Org., 1993.
- HŮLA, J., et al.: *Povrchový odtok vody a smyv zeminy při pěstování kukuřice a ovesa setého*. Česká zemědělská univerzita a Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, 2010.

- HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ, B. et al.: *Minimalizace zpracování půdy*. Profi Press s.r.o., Praha, 2008.
- JANEČEK, M. et al.: *Základy erodologie*. 1. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008.
- JANEČEK, M.: *Způsoby omezení degradace půd erozí a systémy protierozní ochrany*. UZPI, Praha, 2000.
- KLIMENT, Z., KADLEC, J., LANGHAMMER, J.: *Evaluation of suspended load changes using AnnAGNPS and SWAT semi-empirical erosion models*. Catena, 2008.
- KLIMENT, Z., LANGHAMMER, J.: *Modelování erozního ohrožení ve velkých územních celcích*. Geomorfologický sborník, 2005.
- KÖNINGER, Julia, et al.: *Manure management and soil biodiversity: Towards more sustainable food systems in the EU*. Agricultural Systems, 2021.
- KUMHÁLA, F. et al.: *Zemědělská technika – stroje a technologie pro rostlinou výrobu*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007.
- KUNZOVÁ, E.: *Výživa rostlin a hnojení fosforem*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2009.
- KVÍTEK, T., TIPPL, M.: *Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2003.
- LAUNAY, C., et al.: *Incorporating energy cover crops for biogas production into agricultural systems: benefits and environmental impacts. A review*. Agronomy for Sustainable Development, 2022.
- LI, J., et al.: *Quantitative effects of vegetation cover on wind erosion and soil nutrient loss in a desert grassland of southern New Mexico, USA*. Biogeochemistry, 2007.
- MANNERING, J. V., FENSTER, C. R.: *What is conservation tillage?* Journal of Soil and Water Conservation, 1983.
- MAŠEK, J., ŠINDELÁŘ, R.: *Přesné seti novými technologiemi – Fakta o zakládání porostů bez orby*. Zemědělec, 2005.
- MORGAN, R. C. P.: *Soil erosion and conservation*. John Wiley & Sons, 2009.

- MORGAN, R. P. C., DUZANT, J. H. *Modified MMF (Morgan–Morgan–Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion*. Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, 2008.
- NOVOTNÝ I., et al.: *Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy*. Praha: Výzkumný ústav meliorace a ochrany půdy, 2017.
- OJEDA, G., et al.: *Runoff and losses by erosion in soils amended with sewage sludge*. Land degradation & development, 2003.
- PÁLTIK, J. et al.: *Stroje pre rastlinnú výrobu – obrábanie pôdy, sejba*. SPU, Nitra, 2003.
- PANUCCIO, M., R., et al.: *Use of digestate as an alternative to mineral fertilizer: effects on growth and crop quality*. Archives of Agronomy and Soil Science, 2019.
- PASTOREK, Z.: *Zemědělská technika dnes a zítra*. Profi Press, Praha, 2002.
- PIMENTEL, D.: *Soil erosion: a food and environmental threat. Environment, development and sustainability*. 2006.
- PODHRÁZSKÁ, J., et al.: *Effect of changes in some climatic factors on wind erosion risks—the case study of South Moravia*. Acta Universitatis Agriculture et Silviculture Madelaine Brunensis, 2013.
- RICHTER, R., et al.: *Organická hnojiva a jejich postavení v zemědělské praxi (Organic fertilizers and their position in agricultural practice)*. Úroda, 50, 2002.
- RICHTER, R., ŘÍMOVSKÝ, K.: *Organická hnojiva, jejich výroba a použití. 1. vydání*. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství České republiky, 1996.
- SHIPITALO, M. J., et al.: *Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals*. Soil and tillage research, 2000.
- SMUTNÝ, V., et al.: *Úzkořádková technologie pěstování kukuřice na siláž a zrno*. Mendelova univerzita v Brně, 2016.
- SOANE, B., D., et al.: *No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment*. Soil and Tillage Research, 2012.

- SOMMER, C., ZACH, M. et al.: *Langfristige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit durch konservierende/schonende Bodenbearbeitung- Konzept*. Agrartechnik, 1990.
- STACH, J.: *Regulace plevelů v podmínkách minimálního zpracování půdy*. In: Sb. *Využití různých systémů zpracování půdy při pěstování rostlin*. VÚRV, 2000.
- STREĎANSKÝ, J.: *Veterná erózia pôdy – ochranný účinok poľnohospodárskych plodín voči účinkom veternej erózie*. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe, č. 15, 1993.
- SUDMEYER, R. A.; SCOTT, P. R. *Characterization of a windbreak system on the south coast of Western Australia*. 1. Microclimate and wind erosion. Australian journal of experimental agriculture, 2002.
- TITI, E.A.: *Soil tillage in agroecosystems*. CRC press, USA. 2002.
- UNC, A., et al.: *Transport of bacteria from manure and protection of water resources*. Applied Soil Ecology, 2004.
- VEERAMANI, P., et al.: *Organic manure management on groundnut; A review*. Wudpecker Journal of Agricultural Research, 2012.
- Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. [online] VÚMOP: 2012 [cit. 15.3.2023]. Dostupné z: <https://www.vumop.cz/eroze-pudy>
- WISHMEIER, W., SMITH, D. D.: *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. Washington, D.C.: Dept. of Agriculture, 1978.
- YANG, Qingxiang, et al.: *Distribution of antibiotic-resistant bacteria in chicken manure and manure-fertilized vegetables*. Environmental Science and Pollution Research, 2014.
- ZACHAR, D.: *Erózia pôdy*. Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, 1970.

13. Seznam obrázků

Obr. č. 1: Různé způsoby pěstování kukuřice (SMUTNÝ,2016).	7
Obr. č. 2: Blokové schéma univerzální rovnice (HOLÝ, 1978).	13
Obr. č. 3: Lokalita pokusu na pozemku.	26
Obr. č. 4: Pokusné parcelky s aplikovanými organickými hnojivy.	27
Obr. č. 5: Ruční setí hybridu kukuřice KWS.	29
Obr. č. 6: Umístění odtokových mikroparcel se záchytnou plochou 0,16 m ²	30
Obr. č. 7: Využívaná meteostanice Vantage Vue.	31

14. Seznam tabulek

Tab. č. 1: Druh a dávka organického hnojiva na jednotlivých parcelkách.	27
Tab. č. 2: Vlastnosti organických hnojiv.	28
Tab. č. 3: Hodnoty množství vybraných prvků použitých organických hnojiv.	28
Tab. č. 4: Tukeyvův post-hoc test k první erozní události.	35
Tab. č. 5: Tukeyvův post-hoc test k druhé erozní události.	37
Tab. č. 6: Tukeyvův post-hoc test k třetí erozní události.	39
Tab. č. 7: Tukeyvův post-hoc test k čtvrté erozní události.	41
Tab. č. 8: Tukeyvův post-hoc test k páté erozní události.	42
Tab. č. 9: Tukeyvův post-hoc test k šesté erozní události.	44
Tab. č. 10: Tukeyvův post-hoc test k sedmé erozní události.	46

15. Seznam grafů

Graf č. 1: Záznam hodnot srážek a intenzity deště v červnu.	32
Graf č. 2: Záznam srážek a intenzity deště v červenci.	33
Graf č. 3: Záznam srážek a intenzity deště v srpnu.	33
Graf č. 4: Povrchový odtok všech variant po první erozní události.	34
Graf č. 5: Smyv zeminy všech variant po první erozní události.	35
Graf č. 6: Povrchový odtok všech variant po druhé erozní události.	36
Graf č. 7: Smyv zeminy všech variant po druhé erozní události.	37
Graf č. 8: Povrchový odtok všech variant po třetí erozní události.	38
Graf č. 9: Smyv zeminy všech variant po třetí erozní události.	39
Graf č. 10: Povrchový odtok všech variant po čtvrté erozní události.	40
Graf č. 11: Smyv zeminy všech variant po čtvrté erozní události.	40
Graf č. 12: Povrchový odtok všech variant po páté erozní události.	41
Graf č. 13: Smyv zeminy všech variant po páté erozní události.	42
Graf č. 14: Povrchový odtok všech variant po šesté erozní události.	43
Graf č. 15: Smyv zeminy všech variant po šesté erozní události.	44
Graf č. 16: Povrchový odtok všech variant po sedmé erozní události.	45
Graf č. 17: Smyv zeminy všech variant po sedmé erozní události.	45