

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA PLÁNOVÁNÍ KRAJINY A SÍDEL



**TECHNOLOGIE PĚSTOVÁNÍ KUKUŘICE S PODSEVOVOU
PLODINOU A JEJÍ VLIV NA PŮDU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. David Kincl

Diplomant: Bc. Ksenia Buyval

2022-2023

ZADÁNÍ

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Ksenia Buyval

Regionální environmentální správa

Název práce

Technologie pěstování kukuřice s podseвовou plodinou a její vliv na půdu

Název anglicky

The technology of maize with intercrop and its effect on the soil

Cíle práce

Cílem práce bude zhodnotit, zda mimo protierozního efektu má technologie pěstování kukuřice s podseвовou plodinou i další přínosy pro půdu a životní prostředí.

Metodika

Práce bude obsahovat úvod do problematiky vodní eroze a agrotechnických opatření. Praktická část zhodnotí, jaký vliv má technologie pěstování kukuřice s podseвовou plodinou z hlediska omezení utužení půdního profilu a množství půdní vláh. Tyto parametry následně budou porovnávány s konvenčním způsobem pěstování kukuřice. Hodnocení dat i výstupy práce budou řešeny prostřednictvím GIS.

Doporučený rozsah práce

dle Nařízení děkana č. 2/2020 – Metodické pokyny pro zpracování diplomové práce na FŽP

Klíčová slova

kukuřice, podsevní plodina, technogenní utužení, půdní vlhkost,

Doporučené zdroje informací

HŮLA, J. – BOHUSLÁVEK, J. – KOVAŘÍČEK, P. – JANEČEK, M. – VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY PRAHA. *Agratechnická protierozní opatření*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2003. ISSN 1211-3972.

JANEČEK, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Ochrana zemědělské půdy před erozí : metodika*. Praha: Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.

MORGAN, R P C. *Soil erosion and conservation*. Malden: Blackwell, 2005. ISBN 1-4051-1781-8.

VOPRAVIL, J. *Půda a její hodnocení v ČR. Díl. I*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2010. ISBN 978-80-87361-05-4.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. David Kincí

Garantující pracoviště

Katedra plánování krajiny a sídel

Elektronicky schváleno dne 19. 9. 2022

prof. Ing. Petr Škleníčka, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 31. 10. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 16. 03. 2023

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Technologie pěstování kukuřice s podsevovou plodinou a její vliv na půdu

na vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne

.....

(podpis autora práce)

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. David Kincl za vedení práce, odborné rady s tím související a vstřícný přístup. Také bych chtěla poděkovat svojí rodině a příteli s jeho rodiči za morální pomoc a potřebnou podporu.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá tématem pěstování kukuřice s podsevovou plodinou a vlivem této technologie na erozní procesy půdy. Práce uvádí do problematiky obecné eroze. Taky se zabývá členěním eroze, rozdíly mezi erozí vodní a větrnou. Diplomová práce obsahuje popis způsobu výpočtu průměrné roční ztráty půdy a jednotlivé faktory, které tuto ztrátu mohou ovlivnit.

Práce řeší jaký vliv mají podsevy z hlediska omezení utužení půdního profilu a množství půdní vláh. Technologie je porovnávána s konvenčním způsobem pěstování kukuřice. Cílem práce je zhodnotit, zda mimo protierozního efektu má technologie pěstování kukuřice s podsevovou plodinou i další přínosy pro půdu a životní prostředí.

Výsledkem statistické analýzy byla prokázána účinnost dané technologie.

Klíčová slova

Eroze, kukuřice, podsevová plodina, technogenní utužení, půdní vlhkost

Abstract

The thesis deals with the topic of maize cultivation with undersown crop and the influence of this technology on soil erosion processes. The thesis introduces the problem of general erosion. It also deals with the breakdown of erosion, the differences between water erosion and wind erosion. The thesis includes a description of how the average annual soil loss is calculated and the various factors that can influence this loss.

The thesis addresses the effect of reseeding in terms of limiting soil compaction and soil moisture content. The technology is compared with conventional maize cultivation. The aim of the work is to evaluate whether the technology of growing maize with a subcrop has other benefits for the soil and the environment besides the anti-erosion effect.

As a result of the statistical analysis, the effectiveness of the technology was demonstrated

Keywords

Erosion,maize,intercrop,technogenic compaction,soil moisture

Cíl práce

Zhodnotit, zda mimo protierozního efektu má technologie pěstování kukuřice s podseвовou plodinou i další přínosy pro půdu a životní prostředí.

Metodika

- úvod do problematiky eroze a protierozních opatření
- vyhodnocení technologie pěstování kukuřice s podseвовou plodinou
- popis Metodu měření utužení a vlhkosti půdy
- vypracování výsledků metodou IDW

Obsah

Úvod	10
1. Dělení eroze	11
2. Vodní eroze	14
2.1 Faktor erozní účinnosti dešťů	16
2.2 Faktor erodovatelnosti půdy	17
2.3 Faktor délky a sklonu svahu	18
2.4 Faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu	19
2.5 Faktor účinnosti protierozních opatření	20
2.6 Přípustná míra erozního ohrožení	20
2.7 Příčiny vodní eroze	21
2.8 Důsledky vodní eroze	22
3 Větrná eroze	23
3.1 Příčiny a důsledky větrné eroze půdy	24
4 Protierozní opatření obecně	26
4.1 Agrotechnická protierozní opatření	28
5 Kukuřice setá a její půdoochranných způsob pěstování	29
6 Metodika	31
6.1 Rozbor území	31
6.2 Utužení půdy	34
6.3 Vlhkost půdy	36
6.4 Metoda IDW	39
6.5 Výsledky	40
7. Diskuse	54
8. Závěr	55
9. Seznam obrázků	56
10. Seznam tabulek	56
11. Seznam grafů	57
11. Seznam literatury	58

Úvod

Půdní eroze – ničení ornice vodou a větrem, odplavování nebo rozptýlování jejích částic a usazování na nových místech.

Vodní a větrná eroze půdy zmenšuje plochu orné půdy, snižuje úrodnost půdy, ztěžuje obdělávání polí, ničí silnice a další stavby, zanáší kanály a nádrže.

Půdní eroze ovlivňuje zájmy všech národů světa. Vlivem eroze půdy vzniká další problém – problém hladu, jelikož se půda stává nevhodnou k využití, úrodná vrstva je zvětralá. K řešení globálních problémů je nezbytná interakce všech zemí světa.

Diplomová práce se zabývá problematikou eroze. v práci je popsáno členění eroze, příčiny vzniků a její dopady.

Následně jsou rozebrána protierozní opatření a jejich účinnost. Podrobněji jsou probraná opatření agrotechnického charakteru.

Také v práci je rozebrána problematika pěstování kukuřici s podsevovou plodinou. A jsou porovnané varianty pěstování kukuřice s podsevy a varianta konvekční. Na základě vyhodnocení měření utužení a vlhkosti půdy.

1. Dělení eroze

Členění eroze podle

- intenzity na normální a zrychlenou
- příčiny na vodní, větrnou, ledovcovou, zemní antropogenní, atd.
- formy na plošnou, výmolnou a proudovou
- mechanismu na mezirýžkovou a rýžkovou
- časového hlediska na historickou a soudobou

(Katedra Hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta Stavební, ČVUT v Praze)

Normální eroze

Normální eroze probíhá s nízkou intenzitou a úbytek půdních částic je doplněn tvorbou nových částic v půdní matici. Pevnost půdního profilu se nesnižuje, ale dochází ke změně a zhrubnutí částicového složení svrchní vrstvy půdy (Holý, 1978). K normální erozi patří sezónní eroze, která se vyskytuje na části území v obdobích, kdy je půda pokryta plodinami, které nemohou erozi zabránit, a mikroerozie, při níž se půdní částice a rostlinné živiny uvolňují z lokálních vyvýšenin a přenášejí se na krátké vzdálenosti. Sezónní eroze se projevuje sníženou úrodností půdy a mikroerozie se projevuje nerovnoměrnou sklizní (Holý, 1994).

Zrychlená eroze

Při zrychlené erozi jsou půdní částice odplavovány v takové míře, že nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem z půdního podloží. Dochází k vytvoření ostrých tvarů povrchu. (Holý, 1978). Z toho plyne, že vodní erozi není možné zcela odstranit, lze ji však výrazně zmírňovat a umožnit tak trvalé využití půdy pro pěstování zemědělských plodin (Ministerstvo zemědělství, 2009-2023).

K procesu zrychlené eroze půdy dochází od doby, kdy člověk začal narušovat přirozený půdní pokryv, který na většině území tvořila lesní společenstva. Metody ochrany proti tomuto procesu jsou lidstvu známy od nepaměti. Teprve nové poznatky však daly vzniknout vědě o erozi půdy, jejích příčinách, důsledcích a metodách ochrany proti ní (erodologii). Její vývoj byl poměrně složitý a podíleli se na něm odborníci z různých oborů. Nejširší pojetí eroze bylo koncipováno geology a geomorfology, kteří erozi posuzovali především z hlediska vývoje zemského povrchu (Morgan, 2005).

Jak uvádí (Zachar, 1970) vodní eroze lze dělit na povrchovou, nebo pod povrchovou

Následně se povrchová eroze dělí ještě na:

- Plošnou
- Výmolnou
- Proudovou

(Janeček a kol, 2002)

Plošná eroze

Jedná se o jev, který se vyznačuje působením eroze a odnosem půdní hmoty po celé ploše narušeného území. Nejdříve dochází k plošné erozi selektivním způsobem, kdy povrchový odtok odnáší nejjemnější částice půdy a s nimi i chemické a organické složky. Tak se erodované půdy stávají hrubozrnnými, s podstatně nižším obsahem živinového humusu. To vede ke snížení úrodnosti půdy. Přitom je selektivní eroze o to hrozivější, že na povrchu půdy nezůstávají žádné viditelné stopy a lze ji dokázat spolehlivě pouze zrnitostní a chemickou analýzou. Jinou formou projevu plošné eroze může být za určitých podmínek i eroze vrstevná (střídání málo odolných a odolných vrstev v půdním profilu), během níž je půdní hmota odnášena vodou po vrstvách. Většinou způsobuje ztrátu celé svrchní vrstvy půdy. Vzniká především v důsledku přívalových dešťů, po rozsáhlých záplavách a někdy v případech nesprávného zavlažování zemědělské půdy (Ministerstvo životního prostředí, 2005).

Pro hodnocení intenzity plošné eroze v dlouhodobém horizontu je pak možné využít tab. 1. (Janeček, 2008).

Stupeň	Intenzita odnosu půdy erozí	Hodnocení eroze
1	do 0,05 mm/rok	nepatrná
2	0,05 – 0,5 mm/rok	slabá
3	0,5 – 1,5 mm/rok	střední
4	1,5 – 5,0 mm/rok	silná
5	5,0 – 20,0 mm/rok	velmi silná
6	nad 20,0 mm/rok	katastrofální

Tabulka 1 Klasifikace plošné eroze podle intenzity, (Janeček, 2008)

Výmolná eroze

Jedná se o vyšší stupeň rýhové eroze, který vytváří výmoly (často s kaskádovitými stupni) hluboké a široké více než 30 cm. Výmolová eroze vzniká v místech soustředění a soutoku přivalových vod ve žlabech, údolích, cestách, příkopech a je závislá nejen na typu terénu, ale také na dostatečné ploše sběrné oblasti a zejména na půdních vlastnostech (Stehlík, 1970).

Proudová eroze

Dochází k ní ve vodních tocích prostřednictvím působení vodního proudu. Pokud je erodováno pouze dno, jedná se o erozi dnovou, pokud jsou erodovány břehy, jedná se o erozi břehovou (Holý, 1978).

2. Vodní eroze

Vodní eroze je dnes označována za jeden z nejdůležitějších procesů degradace zemědělské půdy. Nevhodné zemědělské postupy na erozně ohrožené zemědělské půdě mají za následek ztrátu půdy při každém větším dešti. Erodivaný materiál má velký obsah živin, které později půdě chybí. Tím se půda v důsledku vodní eroze postupně stává méně úrodná. Chybějící živiny v půdě je třeba doplnit, aby bylo možné dosáhnout požadovaných výnosů, avšak se zvýšenými náklady. Vyplavování živin z půdy v souvislosti s vodní erozí způsobuje řadu potíží mimo zemědělský prostor. Erodivané půdy se velmi často přenášejí do vodních toků a nádrží, kde dochází ke znečištění a zanášení. V důsledku toho se snižuje průtočný profil vody v toku nebo dochází k eutrofizaci. Významné škody působí také zanášení dopravních cest a výjimkou nejsou ani škody v zastavěných oblastech (Kincl a kol., 2020).

Proces půdní eroze je přírodní, který nelze úplně ukončit. V České republice více než polovina zemědělské půdy je ohrožena vodní erozí. Drtivá většina půdy ohrožené erozí však není systematicky chráněna, aby se předešlo její další ztrátě. Z tohoto důvodu je třeba se věnovat problematice ochrany zemědělské půdy před tímto typem eroze, ale i před několika dalšími specifickými typy eroze, které zatím nejsou z hlediska ochrany půdy tak rozšířené (Novotný a kol., 2017).

Ztráta půdy vodní erozí se stanoví na základě rovnice USLE:

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

kde: **G** představuje potenciální dlouhodobou průměrnou roční ztrátu půdy v /t . ha⁻¹ . rok⁻¹/,

R faktor erozní účinnosti dešťů, vyjádřený v závislosti na kinetické energii, úhrnu a intenzitě erozně nebezpečných dešťů,

K faktor erodovatelnosti půdy, vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty v ornici a propustnosti půdního profilu,

L faktor délky svahu, vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí,

S faktor sklonu svahu, vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí,

C faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu, vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice,

P faktor účinnosti protierozních opatření(Novotný a kol., 2017).

USLE je nejpoužívanější rovnicí při hodnocení eroze půdy, ačkoli se objevuje mnoho pochybností o její použitelnosti při výpočtu absolutních hodnot ztráty půdy (Schmitt , 2009)

Specifikace jednotlivých základních forem projevů vodní eroze dle (Novotný a kol., 2017).

Forma eroze	Sub forma eroze	Specifikace formy	Vhodná skupina nápravných opatření
Plošná		rovnoměrný smyv půdních částic po celé ploše, vyplavovány jsou především jemnozrné frakce půdy nebo ztráta celé orniční vrstvy na celém povrchu nebo v pruzích	organizační a agrotechnická opatření
Výmolná	Rýžková	hustá síť drobných úzkých rýžek širokých a hlubokých 2 – 10 cm	organizační, agrotechnická i technická opatření
	Brázdová	mělké širší zářezy s menší hustotou výskytu	organizační, agrotechnická i technická opatření
	Rýhová	rýhy široké a hluboké 10 – 30 cm	technická opatření v kombinaci s organizačními a agrotechnickými
	Výmolná	výmoly (často s kaskádovitými stupni) hluboké a široké 30 - 100 cm v místech koncentrace a soutoku přívalových vod v úžlabinách, údolnicích, cestách, příkopech	asanace výmolu; stabilizace dráhy soustředěného odtoku, v kombinaci s organizačními a agrotechnickými opatřeními
	Stržová	strže hluboké a široké více než 1 m, s délkou často větší než 1 km	asanace strže; stabilizace dráhy soustředěného odtoku, v kombinaci s organizačními a agrotechnickými opatřeními

Tabulka 2 Specifikace jednotlivých základních forem projevů vodní eroze (Novotný, 2017)

2.1 Faktor erozní účinnosti dešťů

Ukazatel účinnosti dešťů byl odvozen ve Spojených státech, kde výzkumníci na základě obsáhlých údajů o srážkách získali přímou závislost mezi ztrátou půdy z určitého území a účinností deště na erozi. Erozní účinnost deště je definována jako poměr celkové kinetické energie přívalového deště k jeho maximální dosažené třicetiminutové intenzitě (Janeček a kol., 2012).

Na celém území České republiky se do roku 2012 používala hodnota erozní účinnosti deště $R = 20 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$. Určení této hodnoty bylo založeno na dlouhodobé řadě pozorování srážek na 3 stanicích ČHMÚ v Praze – Klementinu, Táboře a Bílé Třemešné. Pro účely stanovení byly využity srážkové úhrny redukované o 12,5 mm. Hodnota byla v roce 2012 zaktualizována na $40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$, ale vzhledem k velmi malému počtu stanic použitých k jejímu odvození nebyla hodnota R faktoru regionalizována. Byla však vytvořena mapa s přibližným rozložením R faktoru v ČR. Na území horských regionů se faktor R pohybuje v rozmezí 60-120 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$, v ostatních zemědělských oblastech se hodnota pohybuje v rozmezí 30-45 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$, v oblasti srážkového stínu je faktor R nižší, 15-30 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$, a v podhůří se faktor R pohybuje v rozmezí 45-60 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ (Janeček a kol., 2012).

2.2 Faktor erodovatelnosti půdy

Faktor K – faktor erodovatelnosti půdy, resp. náchylnosti půdy k erozi, se definuje v univerzální rovnici jako úbytek půdy v $t \cdot ha^{-1}$ na jednotku dešťového faktoru R ze standardního pozemku o rozloze 22,13 m (na svahu o sklonu 9 %) udržovaného jako obdělávaný černý úhor kultivací ve směru svahu (Lacková a kol., 2015; Janeček a kol., 2002; Podhrázská a Dufková, 2005).

Fyzikální vlastnosti půdy hrají hlavní roli při určování toho, kolik vody může půda absorbovat a jak dobře mohou půdní agregáty odolávat síle dešťových srážek a povrchového odtoku.

Je možné stanovit faktor půdní erodovatelnosti:

1. podle vztahu odvozeného pro faktor K,
2. podle nomogramu sestaveného na základě uvedeného vztahu,
3. přibližně podle hlavních půdních jednotek (HPJ) bonitační soustavy půd nebo podle půdních typů, subtypů a variet Taxonomického klasifikačního systému půd ČR.

Pro první dvě metody stanovení je nutné mít k dispozici základní charakteristiky dané půdy nebo výsledky analýz směsných vzorků půdy odebraných přímo v terénu z různých míst zkoumaného pozemku (obvykle nejvíce ohrožených) (Janeček a kol., 2012).

Faktor K je paušální parametr, který kombinuje vliv zrnitostních charakteristik půdy, propustnosti půdy a obsahu organického materiálu na ztrátu půdy generovanou ze standardní jednotky USLE (22,13 m dlouhé a 1,83 m se sklonem 9 %) (Wischmeier a Smith, 1978).

2.3 Faktor délky a sklonu svahu

Velký vliv na rozvoj erozních procesů má reliéf. Faktor délky svahu (L) a faktor sklonu svahu (S) jsou bezrozměrné faktory, které vyjadřují poměr mezi ztrátou půdy při dané délce a sklonu svahu k původní jednotce pozemku USLE ($L = 22,13$ m a sklon 9 %) (Benavidez a kol., 2018). Tyto dva faktory lze považovat za jediný topografický faktor (LS). Délka svahu je definována jako vodorovná vzdálenost od počátku nadzemního toku k počátku snížení sklonu svahu, které umožňuje zahájení usazování nebo soustředění odtoku v definovaném korytě, ať už bylo součástí přirozené odvodňovací sítě nebo vybudovaného koryta. Rovnice (1.1) představuje výpočet LS podle USLE v případě rovnoměrných svahů. Délku svahu s nepravidelným sklonem lze rozdělit na stejné úseky s téměř rovnoměrným sklonem a příspěvek každého úseku sklonu ve faktoru LS lze vypočítat podle rovnice (1.2). Ekvivalentní LS faktor pro nestejněměrné svahy lze odvodit kombinací vypočtených hodnot pro jednotlivé segmenty, jak ukazuje rov (1.3) (Wischmeier a Smith, 1978).

Rov 1.1

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m \times (65.41 \times \sin^2 \theta + 4.56 \times \sin \theta + 0.065)$$

Rov 1.2

$$\text{Soilloss fraction (SLF)} = \frac{i^{m+1} - (i-1)^{m+1}}{N^{m+1}}$$

Rov 1.3

$$LS = \sum_{i=1}^N SLF_i \times L \times S_i$$

kde θ je úhel sklonu ve stupních, m je exponent délky svahu ($m = 0,5$ pro procenta svahu > 5 , $0,4$ pro svahy v rozmezí $3,5$ až $4,5$ %, $0,3$ pro svahy o sklonu 1 až 3 % a $0,2$ pro svahy o sklonu menším než 1 %) a N je počet stejně dlouhých úseků rozdělené délky svahu.

Využití geografického informačního systému (GIS) při výpočtu faktoru LS je stále populárnější díky široké dostupnosti satelitních dat o terénu [digitálních modelů terénu (DMT)] a pokroku v technologii GIS a výpočetních zdrojích. DMT je jediným potřebným vstupem pro výpočet oblastí přispívajících k hornímu toku a LS faktoru ve složitých terénech (Moore a Burch, 1986; Desmet a Govers, 1996).

Při výpočtu LS faktoru se používají rastry akumulace průtoku a sklonu, vytvořené v GIS, jak je uvedeno ve rovnici (1.4). Hodnoty exponentů m a n závisí na převládajícím typu eroze (plošná: rýhová), přičemž m se pohybuje v rozmezí $(0,4;0,6)$ a n v rozmezí $(1;1.)$ (Mitasova a Mitas, 2001). Tato rovnice byla použita v mnoha předchozích studiích.

Rov 1.4

$$LS = \left(\frac{FA \times D}{22.13}\right)^m \left(\frac{\sin \theta}{0.0896}\right)^n$$

2.4 Faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu

Ochranný faktor vegetace je závislý na typu vegetačního pokrytí a jeho způsobilosti chránit půdu před ničivými účinky dešťových kapek dopadajících na povrch půdy a na jeho možnosti zmírnění intenzity povrchového odtoku. Ochranná účinnost vegetace je přímo úměrná pokryvu a hustotě vegetace v době dešťového přívalu. Trávy a jeteloviny patří mezi nejvíce chránící plodiny, zatímco konvenčně pěstované širokořádkové plodiny (kukuřice, okopaniny, sady a vinice) chrání půdu nejméně. Faktor C se pro daný způsob pěstování stanoví podle střídání plodin na pozemcích a zohledňuje uplatňované agronomické postupy. Pokud není možné stanovit strukturu plodin a jejich střídání, lze C-faktor určit podle průměru plošného zastoupení plodin v příslušné lokalitě s využitím hodnot C-faktoru přiřazených jednotlivým plodinám v metodice o ochraně zemědělské půdy před erozí (Janeček, 2012).

Příklad půdních pokryvů a odpovídající hodnoty C podle (Dumas a kol., 2009) je uveden v tabulce 3.

Land Cover	C-factor
Water and Urban Zones	0.000
Dense forest	0.001
Crops	0.010
Mangrove	0.040
Savanna	0.160
Bare land	1.000

Tabulka 3 Typy půdního pokryvu a odpovídající C hodnoty (Dumas a kol., 2009)

2.5 Faktor účinnosti protierozních opatření

Faktor P je poměr ztráty půdy při určitém způsobu obdělávání k odpovídající ztrátě půdy při obdělávání půdy na svahu a pod svahem (Renard a kol., 1997).

Hodnoty faktoru P se pohybují v rozmezí od 0,55 do 1, přičemž vysoká hodnota je přiřazena oblastem bez ochranných postupů; minimální hodnoty odpovídají zastavěným plochám a plochám plantáží s pásovým a obrysovým pěstováním (Wischmeier a Smith, 1978).

2.6 Přípustná míra erozního ohrožení

Podmínkou pro dlouhodobě udržitelné zemědělství je, aby úbytek půdy nepřekročil rychlost její tvorby. To se nazývá tolerance půdní eroze, která představuje maximální ztrátu půdy, jež umožňuje dosažení vysokých výnosů, které jsou ekonomicky a dlouhodobě udržitelné. Je proto nutné nepřekračovat průměrnou ztrátu půdy (Janeček a kol. 2012).

Vyhláška o protierozní ochraně (č. 240/2021 Sb., vyhláška o ochraně zemědělské půdy před erozí) dovoluje kontrolu a pokutování zemědělců za nešetrné hospodaření na zemědělské půdě. Je také významnou formou obrany zvláště pro obce a jejich obyvatele, na jejichž majetku pravidelně dochází k poškozování zemědělské půdy erozí. Protierozní vyhláška tak přispěje k větší stabilitě zemědělské krajiny, kromě toho omezí půdní bloky na maximálně 30 ha, rozšíří dotace a tradiční zemědělské dotace na opatření na ochranu krajiny a osvobodí pozemky s vybranými krajinnými prvky (např. mokřady) od daní.

Ve vyhlášce je stanovena přípustná ztráta půdy, která musí být dodržena. V dotačním systému pro zemědělství je erozně ohrožená půda dosud definována přípustnou ztrátou 17 tun na hektar za rok, s platností vyhlášky to bude 9 tun na hektar za rok. Tento maximální limit ztráty půdy je nepřekročitelný a přihlíží jak k požadavkům na protierozní ochranu, tak k realizovatelnosti opatření v zemědělské praxi. K identifikaci problematických oblastí, kde je limit překročen, bude sloužit již fungující Erozní monitoring (aplikace spravovaná SPÚ a VÚMOP, v.v.i.). Při prvním záznamu erozní události v Monitoringu je zemědělec upozorněn, že by měl podle této situace upravit své hospodaření. Při opakovaném záznamu je již patrné, že v dané oblasti dochází k opakujícím se problémům s erozí a je třeba tuto oblast monitorovat a přijmout účinnější protierozní opatření. Zároveň bude s využitím údajů z monitoringu eroze průběžně posuzována účinnost protierozní vyhlášky tak, aby do budoucna nebyla vyloučena možnost zpřísnění limitu přípustné ztráty (Ministerstvo zemědělství, 2008–2023).

2.7 Příčiny vodní eroze

Mezi typické příčiny vodní eroze mohou patřit antropogenní faktory, mezi něž patří využívání půdy a hospodaření na ní. Na zemědělské půdě se zpravidla jedná o faktor vegetace, ale také o přírodní faktory, jakými jsou morfologie, klima a hydrologie a geologické a půdní podmínky (Rejšek a Vácha, 2018).

Klima, topografie, odolnost půdy vůči erozi, vegetace, lidská činnost a další faktory mají zásadní vliv na intenzitu erozních procesů. Klimatické změny mají na průběh erozních procesů vliv prostřednictvím změn teploty, srážek a jejich intenzity a síly větru. Teplota ovlivňuje hloubku promrzání půdy, intenzitu tání a rozmrzání sněhu a odtok a infiltraci tající vody do půdy.

Podmínky pro vznik vodní eroze jsou na území České republiky poměrně specifické – zemědělské půdní bloky jsou vlivem intenzifikace zemědělské výroby v minulosti plošně největší v Evropě a zároveň došlo k rozvrácení hydrografických a krajinných prvků (zorněné louky, zatravněné údolnice, polní cesty, likvidace rozptýlené zeleně a další), které efektivně bránily zrychlené erozi. Současně má Česká republika nejnižší výměru půdy na obyvatele, která byla způsobena zánikem trhu se zemědělskou půdou kolem roku 1950. Převážná část zemědělských podniků hospodaří na pronajatých pozemcích, což nadále snižuje jejich zájem investovat do náročnějších, zvláště technických opatření na ochranu půdy.

Na vznik vodní eroze má rozhodující vliv sklon svahu v kombinaci s délkou svahu, vegetační kryt, půdní vlastnosti a jejich náchylnost k erozi, uplatňovaná protierozní opatření a v neposlední řadě časté přívalové deště střídající se se suchými obdobími. Tyto faktory společně vždy působí na míru eroze. Tak dochází k eroznímu smyku i na půdních blocích, které sice nejsou značně sklonité, ale v kombinaci se spojitou délkou svahu jsou nevhodnými pro pěstování erozně ohrožených plodin.

Významný faktor, který vede ke zvýšené míře erozí půdy, je také nedostatek organické hmoty v půdě. Z hlediska prevence půdní eroze je důležitým faktorem příznivý vliv organické hmoty na stabilitu půdní struktury, díky níž má půda větší schopnost vyrovnávat se s výkyvy počasí a odolávat dalším biotickým a abiotickým faktorům. Díky organické hmotě se jednotlivé půdní částice spojují v půdní agregáty, mezi nimiž se vytvářejí póry. Pórovitost půdy je podstatná pro infiltraci vody do půdy a omezení povrchového odtoku. Dobrá zásoba organické hmoty v půdě následně ovlivňuje schopnost půdy zadržovat vodu, což vede k jejímu zadržování v krajině, a tím ke snižování rizika povodní a sucha. Významný je také pozitivní vliv organické hmoty na odolnost půdy vůči zhutnění. Půdy obohacené organickou hmotou lépe odolávají zatížení při pojezdu těžkých strojů po pozemcích (Novotný a kol., 2017).

2.8 Důsledky vodní eroze

Zrychlená vodní eroze půdy připravuje zemědělské půdy o nejúrodnější část – ornici, zhoršuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy, snižuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, snižuje propustnost půdy, poškozuje plodiny, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztráty osiv, sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin což přirozeně snižuje hektarový výnos. Navíc transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje a zanášejí akumulární prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují životní prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin.

Nejvýznamnější následky vodní eroze lze rozdělit do následujících skupin:

- hrozba pro trvalou udržitelnost úrodnosti půdy,
- ovlivnění kvantitativních parametrů vodních zdrojů (kapacita koryt vodních toků a disponibilní objem vodních nádrží),
- ovlivnění kvalitativních charakteristik vodních zdrojů,
- ohrožení intravilánu měst a obcí, komunikací a další infrastruktury v krajině (Novotný a kol., 2017).

3 Větrná eroze

Větrná eroze je přírodní jev, který spočívá v mechanickém působení větru na povrch půdy, jeho rozrušování a následném uvolňování částic z půdy, které jsou rozrušovány a transportovány do různých vzdáleností, kde se po snížení rychlosti větru usazují.

Při větrné erozi může mít pohyb půdních částic tři projevy:

- Pohyb drobných půdních částic v suspenzi, které jsou zachycovány větrem a unášeny na velké vzdálenosti; vznikají prachové bouře;
- Skokový pohyb půdních částic, při kterém dochází k odnosu největší masy půdy;
- Pohyb půdních částic klouzáním po povrchu půdy, při němž se přemísťují větší a těžší částice.

První a druhá fáze jsou vyvolány turbulentním povrchovým proudem větru s energickou schopností přemáhat působení gravitačních sil půdních částic. Třetí fáze probíhá, když energie klesne pod tuto hranici. Vítr je rozhodující složkou větrné eroze a síla větrného proudění závisí na rychlosti, délce trvání, frekvenci a četnosti větrů. Někdy stačí k pohybu půdních částic nízká rychlost větru, ale k nejvýraznějším erozním účinkům dochází při silném, vysušujícím a dlouhotrvajícím větru na odkryté půdě. Na větrnou erozi mají mimo jiné vliv i klimatické faktory, jako jsou srážky a teplota vzduchu (Janeček a kol., 2007).

3.1 Příčiny a důsledky větrné eroze půdy

Na větrnou erozi mají vliv především klimatické faktory (intenzita, směr, četnost a vlhkost půdy), ale rovněž struktura půdy, drsnost půdního povrchu a vlhkost půdy. Větrná eroze je obvyklým jevem v sušších oblastech, ale dochází k ní i ve vlhkých oblastech na suchých místech, která nejsou pokryta vegetací. Mezi příčiny větrné eroze patří především příliš velké pozemky s jedním druhem plodiny, absence větrolamů, ať už přírodních, nebo umělých vysázených alejí, remízků apod. Větrnou erozi ovlivňují i další faktory ovlivňující vazbu půdy a zvyšující odolnost částic proti unášení větrem, zejména nedostatek vegetačního krytu. Vzdálenost půdních částic unášených větrem v závislosti na jejich velikosti je uvedena v tabulce 4 (Janeček a kol., 2007).

Průměr půdních částic v mm	Vzdálenost přenosu
0 – 1	několik metrů
1 – 0,125	1 – 1,5 km
0,125 – 0,0625	několik kilometrů
0,0625 – 0,0312	přes 300 km
0,0312 – 0,0156	přes 1500 km
pod 0,0156	Neomezeně

Tabulka 4 Vzdálenost půdních částic unášených větrem v závislosti na jejich velikosti (Janeček a kol., 2007).

Větrná eroze způsobuje škody na zemědělské půdě kromě přenosu půdních částic, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin i tím, že obnažuje kořeny rostlin a poškozuje křehké stonky mladých rostlin větrem unášenými půdními zrny. Ukládání půdních částic způsobených unášením půdy má za následek poškození budov, zamokření silnic, železnic, příkopů a negativní dopady na stromy a keře. Drobné prachové částice jsou unášeny na větší vzdálenosti, jejich vysoká koncentrace je příčinou plicních a očních onemocnění u lidí a hospodářských zvířat, pronikají do motorů automobilů a vozidel a snižují jejich životnost. (Podhrázká a Dufková., 2005).

Současně se znečištění ovzduší zvyšuje v souvislosti s nárůstem chemických látek z unášených hnojiv a v současné době se do popředí zájmu dostává i mikroplastické znečištění ovzduší s dodnes neznámými následky pro lidské zdraví (Rezaei a kol., 2019).

Mechanismus působení větrné eroze je sice do jisté míry odlišný od vodní eroze, její účinky jsou však velmi podobné. Dochází ke snížení pevnosti půdního profilu, zejména ztrátou svrchní vrstvy půdy. Poškozuje také fyzikální a chemické vlastnosti půdy a snižuje její úrodnost. Při větrné erozi dochází ke značnému zanášení silnic a příkopů a k výraznému zvýšení množství prachu v ovzduší. Pokud jde o rostlinnou produkci, větrná eroze způsobuje největší škody na jaře po suché zimě, kdy poškozuje i mladé porosty.

Významnější jsou ovšem škodlivé účinky větrné eroze na zdraví lidí. Při určitých klimatických podmínkách (dlouhá období bez srážek) má větrná eroze výrazný vliv na koncentraci pevných částic v ovzduší. Ve spojení se začátkem nebo koncem topné sezóny může také způsobit lokalizované překročení přípustných emisních mezí. Kvůli svým fyzikálním vlastnostem je poléťavý prach ideálním nosičem řady dalších specifických znečišťujících složek s vysokým

potenciálním zdravotním rizikem. Drobné částice půdy mohou například obsahovat zbytky agrochemikálií, které se pak dostávají do dýchacích cest lidí a dalších zvířat. Bylo prokázáno, že i krátkodobé zvýšení obsahu polétavého prachu může mít nepříznivé zdravotní následky, jako jsou zánětlivé plicní reakce, respirační příznaky, nepříznivé účinky na kardiovaskulární systém atd. Dlouhodobá zátěž zvýšenými koncentracemi prachových částic může mít za následek: zvýšený výskyt onemocnění dolních cest dýchacích, chronické obstrukční plicní nemoci (CHOPN), snížení plicních funkcí u dětí i dospělých a zkrácení délky života, zejména v důsledku úmrtnosti na kardiopulmonální onemocnění a potenciálně i na rakovinu plic (Ministerstvo zemědělství, 2009-2023).

4 Protierozní opatření obecně

Protierozními opatřeními se rozumí komplex organizačních, agrotechnických a technických (stavebních) opatření, která je třeba vhodně uplatňovat na zemědělské půdě nebo v krajině podle určitých přírodních a hospodářských podmínek s cílem ochránit půdu – jako způsob zemědělské výroby a jako důležitou složku životního prostředí. Mimo primární funkci protierozních opatření – omezení ztráty půdy - mají tato opatření vliv i na vodohospodářské poměry v krajině tím, že - omezují objem povrchového odtoku a velikost kulminačních průtoků v malých povodích v důsledku intenzivních přívalových srážek, - mění směr občasného a náhlého povrchového odtoku, - přispívají ke zvýšení půdní vlhkosti a zlepšení kvality povrchových vod (Hůla, 2003).

Tento problém je v dnešní době zčásti řešen prostřednictvím podmínek standardů Dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy ("DZES"), konkrétně podmínek normy DZES č. 5, která stanovuje způsoby pěstování vybraných hlavních plodin na silně a středně erozně ohrožených plochách evidovaných v LPIS pro protierozní ochranu. V návaznosti na přílohu II nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1306/2013 je pro nové období SZP 2015-2020 upraveno základní zaměření standardů dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy (Ministerstvo zemědělství, 2009-2023).

Protierozní opatření lze rozdělit do tří skupin podle (Sklenička, 2003).

1) Organizační opatření

- návrh velikosti a tvaru pozemků,
- protierozní osevnický postup,
- delimitace kultur (změny druhů pozemku),
- uplatnění plodin s vysokým, resp. vyloučení plodin s nízkým protierozním účinkem,
- směr výsadby ve speciálních kulturách.
- ochranné zatravnění nebo zalesnění (úzce souvisí s předchozím opatřením)

Organizačními opatřeními lze řešit především erozi plošnou a rýhovou, která zapříčiňuje:

- Transport a sedimentaci půdních částic.
- Ztrátu půdy.
- Transport chemických látek.

2) Biotechnická (technická) opatření

- protierozní meze,
- protierozní nádrže a poldry,
- protierozní průlehy,
- protierozní zasakovací pásy,

- sanace drah soustředěného odtoku,
- protierozní hrázky,
- protierozní příkopy (vsakovací, záchytné, odváděcí),
- terasy,
- úpravy výmolů a strží,
- hrazení bystřin včetně úpravy povodí bystřin

3) Agrotechnická opatření

- výsev do ochranné plodiny nebo do strniště,
- hrázkování a důlkování povrchu půdy,
- zatravnění nebo krátkodobé porosty podsevových plodin v meziřadí,
- mulčování.
- podrývání

4.1 Agrotechnická protierozní opatření

Půdoochranné technologie se řadí mezi agronomická protierozní opatření (Hůla a kol., 2003). Technologie ochrany půdy jsou v dnešní době uplatňovány jako efektivní nástroj ke snížení vodní eroze a dalších souvisejících procesů (nadměrný povrchový odtok, ztráta živin, změna fyzikálních vlastností apod.) Ve světě je jejich záměrné zavádění do zemědělských systémů známo již od konce 40. let 20. století (Cerdà et al., 2009).

Protierozní agrotechnická opatření zvyšují absorpční schopnost půdy, snižují její erodovatelnost a chrání půdní povrch, a to zejména v období nejvyšších srážek (červen, červenec, srpen), kdy erozně ohrožené plodiny svým vzrůstem nebo účastí dostatečně nepokrývají půdu (Novotný a kol., 2017). V první třetině období výskytu přívalových dešťů vykazuje nedostatečnou pokryvnost povrchu půdy kukuřice, slunečnice a okopaniny (brambory, cukrová řepa). Vzhledem k velké k výměře orné půdy každoročně osévané kukuřicí je využití účinných agrotechnických protierozních opatření při pěstování této plodiny zvláště aktuální (Janeček a kol., 2012).

Proto jsou agrotechnická protierozní opatření založena na minimalizaci doby, kdy se půda nachází bez vegetačního krytu. Pro protierozní ochranu půdy lze cíleně využít posklizňové zbytky a biomasu meziplodin. Infiltrace vody do půdy by neměla být omezena přítomností ztuhnutých vrstev v půdním profilu (Janeček, 2007).

5 Kukuřice setá a její půdoochranných způsobů pěstování

Jednou z plodin nejvíce ohrožených erozí je kukuřice (*Zea mays* L.). Podle výsledků monitoringu právě u této plodiny se vyskytuje více než polovina případů eroze zemědělské půdy. Všeobecně platí, že úsilí o snížení její plochy není zcela realizovatelné. Kukuřice je ceněna jako zdroj krmiva pro hospodářská zvířata, surovina pro výrobu biopaliv (bioetanolu) a jako substrát pro výrobu bioplynu v zemědělských bioplynových stanicích (ZBPS) (Kincl, 2021).

Kukuřice je významnou jednoletou píceinou. Zajišťuje vysoké množství sušiny a energetických živin na jednotku plochy. Dává 6-9 tisíc škrobových jednotek na hektar. K úspěšné expanzi ploch kukuřice přispěl kromě chemizace a mechanizace také vývoj vysoce účinného biologického materiálu. To umožňuje její šíření do míst, kde se dříve nevyskytovala. Vzácnou vlastností kukuřice je její silážovatelná hmota. Zvýšená poptávka skotu po silážní kukuřici byla a stále je uspokojována rozsáhlým rozšiřováním ploch, což je spojeno s řadou dalších negativních dopadů. Kukuřice jako velmi efektivní píceina se musí pěstovat na menších plochách, ale intenzivně. Kromě vysokých výnosů je nutné dosáhnout vysoké kvality, přičemž hlavními ukazateli jsou podíl palic na celkovém množství a stupeň zralosti (Vrzal a Novák, 1995).

Kukuřice zastává významnou pozici ve struktuře pěstovaných plodin v České republice. Na svažitých pozemcích je však plodinou velmi rizikovou z důvodu náchylnosti k půdní erozi. Důvodem je její technologie pěstování v širokých řádcích, ale také pomalý počáteční růst, respektive dlouhá doba potřebná k zapojení porostu (Venclová, 2020).

Hlavním znakem půdoochranného zpracování půdy je ponechání rostlinných zbytků na povrchu půdy (Blanco a kol., 2008). Ochranné obdělávání půdy je postup hospodaření, při němž je zajištěno, že v momentě vzejití rostlin je alespoň třicet procent povrchu půdy zakryto rostlinnými zbytky. (Hůla a kol., 2008).

Rostlinné zbytky na povrchu půdy mají několik pozitivních účinků:

- Chrání půdu před dopadajícími kapkami – snižuje povrchový odtok a ztráty půdy zbytků (Blavet a kol., 2009; Jordán a kol., 2010; Sadeghi a kol., 2015). Právě snížení ztrát půdy a povrchového odtoku je jedním z nejdůležitějších přínosů rostlinných zbytků (Cerdà, 2001; Groen a Woods, 2008; Prats a kol., 2014);
- Zvýšení drsnosti povrchu – zdrsňený povrch zpomaluje povrchový odtok a umožňuje zadržování půdy a živin (Cerdà, 2001; Jordán a kol., 2010).
- Zvyšují infiltrační schopnost půdy a schopnost zadržování vody (Jordán a kol., 2010; Wang a kol., 2016).
- Napomáhají biologické aktivitě některých živočichů i samotných plodin (Fonte a kol., 2010; Thierfelder a kol., 2013).
- Pozitivně ovlivňují celkový koloběh živin v půdě (Campiglia a kol., 2014).
- Zlepšují stav půdní struktury a obsah organické hmoty v půdě (De Silva a Cook, 2003; Karami a kol., 2012)
- Regulují teplotu ornice, což má pozitivní vliv na klíčení a vývoj kořenů rostlin (Dahiya a kol., 2007; Riddle a kol., 1996).
- Snižují evaporaci (Qin a kol., 2006; Vanlauwe a kol., 2015).

- Pozitivně ovlivňují půdní úrodnost a produktivitu půdy (Kagabo a kol.,2013).

Základní půdoochranné technologie, které se uplatňují jsou :

- Mulch-tillage (zpracování půdy mulčovacími stroji) – všechny posklizňové zbytky zůstávají na povrchu půdy. Při zpracování ornice dochází k tzv. podřezání strniště. K tomuto způsobu zpracování půdy se používají speciální radličkové kypřiče. Po zasetí plodiny zůstane povrch ornice pokryt 30-60 % rostlinných zbytků.
- Strip-tillage (zpracování půdy v pásech) – tento typ zpracování půdy se nejčastěji využívá u širokořádkových plodin, jako jsou slunečnice, kukuřice, sója aj. Při tomto způsobu zpracování půdy se pozemek zpracovává jen v pásech, do kterých je následně zaseto osivo. Na kypření půdy v jednotlivých pásech se používají speciální stroje s upravenými radlicemi nebo rotačními částmi. Zpracování půdy v pásech má kladné účinky v protierozní ochraně půdy.
- Reduced-tillage (redukované zpracování půdy) – provádí se jen nutné pracovní operace: setí, regulace zaplevelení. Tyto nutné operace jsou slučovány do co nejmenšího počtu. Pro snížení počtu pojezdů
- Ridge-tillage (setí do hrůbků) – setí probíhá prostřednictvím secích strojů, které upravují povrch půdy do hrůbků. Využívá se u plodin širokořádkových. Velká část zbytků po sklizni zůstává na povrchu.
- No-tillage (setí do nezpracované půdy) – k tomuto způsobu setí se používají speciální secí stroje, které přímo zasejí plodinu do nezpracované půdy. Posklizňových zbytků zůstane po zasetí až 80 % na povrchu půdy

(Miština,a kol., 1993).

Na ohrožených půdách je vhodné vysévat kukuřici do bezmrazých nebo přezimujících, chemicky zničených meziplodin. Vzhledem k většímu množství rostlinných zbytků na povrchu půdy lze termín setí posunout z důvodu pomalejšího ohřívání půdy, vyšší vlhkosti a vyšší objemové hmotnosti. Proto se v nepříznivém roce někdy opoždí počáteční růst kukuřice. Při setí meziplodiny je dobré hlubší prokypření a urovnání povrchu. V jarních měsících bývá většinou potřeba použití neselektivního herbicidu a během setí kukuřice využít speciální secí stroje, které dokážou podpovrchové zapravení minerálních hnojiv (Zimolka a kol., 2008).

6 Metodika

Technologie pěstování kukuřice s podsevovou plodinou byla hodnocena na základě naměřených dat utužení a vlhkosti půdy. Tyto charakteristiky byly zjišťovány vždy v řezu půdním profilem. Pro porovnání byla hodnocena i konvenční varianta pěstování kukuřice bez posevu. Výsledky měření byly statisticky zpracovány a samotná data zobrazeny pomocí GIS, kdy byly do rastrové podoby interpolovány pomocí metody IDW.

6.1 Rozbor území

Výzkum se prováděl v blízkosti města Jevíčko na půdním bloku č. 4301-0.
oficiální stránky města Jevíčko



Obrázek 1 Mapa půdního bloku 4301-0, (mapy LPIS)

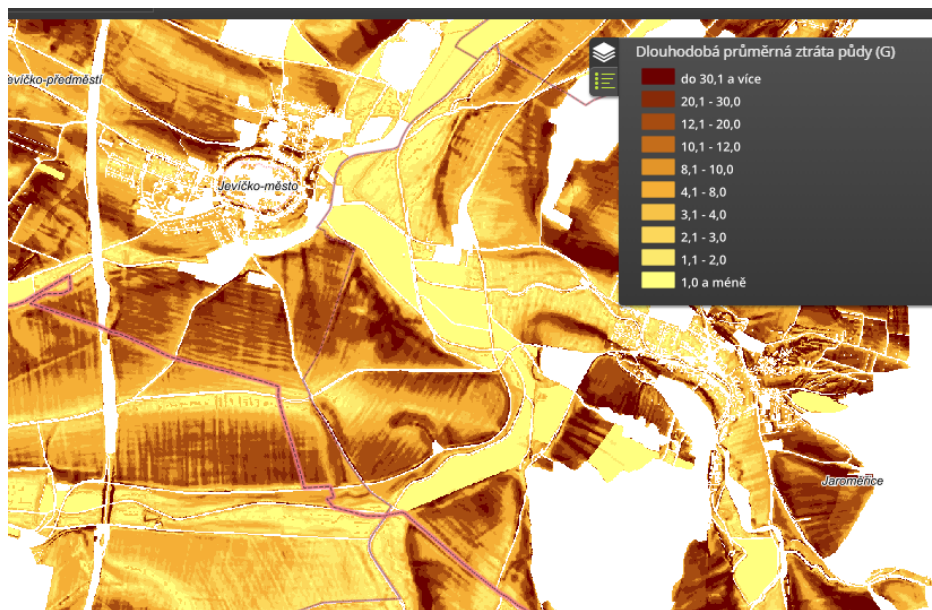
Město Jevíčko se nachází v severní části malebné úrodné oblasti Malé Hané a je jejím přirozeným centrem. Území Malé Hané se rozprostírá od Boskovic po Trnávku v délce asi 25 km a šířce 3 až 5 km. Toto území je součástí geologické deprese zvané Boskovická brázda, která geomorfologicky rozděljuje Českomoravskou vrchovinu od Dražanské vrchoviny. Malá Haná je na severozápadě ohraničena hřbety Podorlické vrchoviny, na severovýchodě kratším úsekem Zábřežské vrchoviny a na jihovýchodě již zmíněnou Dražanskou vrchovinou. Přírodní podmínky, které se zde vyvíjely po tisíciletí, vytvořily neobvyklou krajinu, v níž kopce vytvářejí malebná údolí s loukami střídanými převážně jehličnatými lesy (oficiální stránky města Jevíčko).

Z geomorfologického hlediska se Jevíčsko rozkládá na rozhraní dvou geomorfologických soustav – České tabule a Sudetské soustavy. Pokud se pokusíme podrobněji analyzovat geomorfologické členění, město Jevíčko leží v Jevíčské nížině, která je součástí Malohanácké

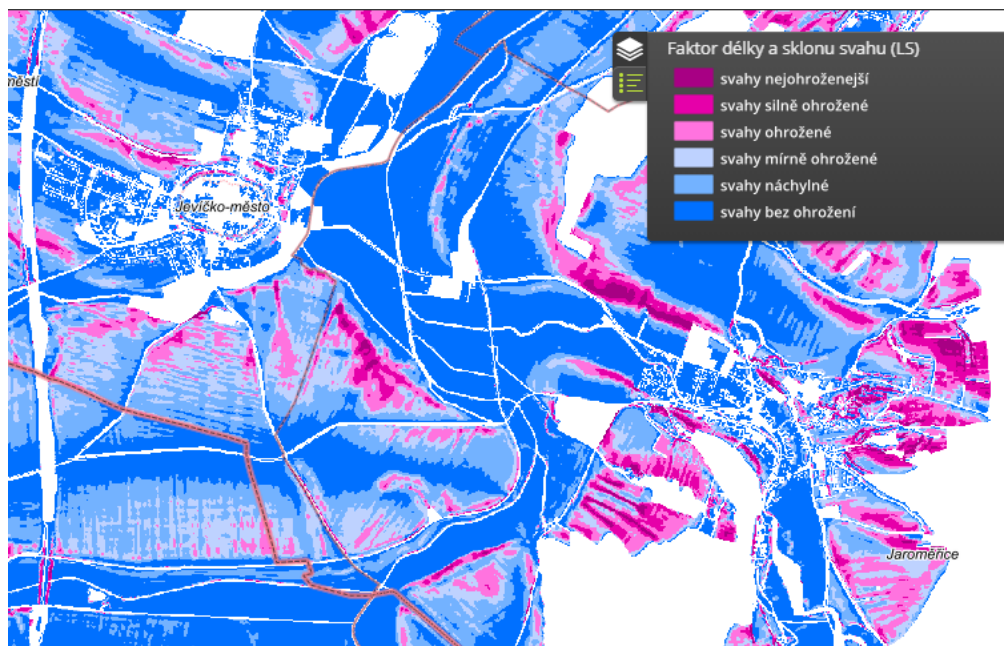
podsooustavy. Hranice mezi jednotlivými geomorfologickými jednotkami vedou převážně severojižním směrem a jsou charakterizovány střídáním asymetrických synklinál a antiklinál. Jako nejvyšší bod v okolí města se uvádí vrch Hušák (625,8 m n. m.), který se od města nachází severním směrem a je součástí Podorlické pahorkatiny. Nejdůležitějšími geomorfologickými celky na území Jevíčka jsou Boskovická brázda a Podorlická vrchovina (Strategický plán rozvoje města Jevíčko 2009–2015).

Město a většina regionu patří do povodí řeky Moravy. Jeho správcem je Povodí Moravy s.p. Brno. Správní kostru celého regionu tvoří řeky Malonínský potok a Jevíčka. Přičemž samotná řeka Jevíčka pramení u obce Malé Roudky a protéká městem Velké Opatovice. V oblasti Zámostí se do Jevíčky dále vlévá Uhřický potok a západně od Jaroměřic v oblasti Tyršovy plovárny Úsobrný potok. Jevíčka protéká kolem města směrem východním v oblasti mezi železniční tratí č. 262 a zastavěným územím města. Od obce Biskupice pak teče západním směrem, kde se vlévá do Biskupického potoka v oblasti Biskupického mlýna. U Petrůvky končí svou pouť a vlévá se do Třebůvky, která pokračuje údolím ke Kosticím a Mohelnici, kde se vlévá do Moravy (Strategický plán rozvoje města Jevíčko 2009–2015).

Jevíčsko se vyznačuje rozmanitým geologickým podložím a geomorfologickou různorodostí. Společně s přechodnou povahou klimatu podmiňují rozmanitost půdních vlastností. Převládajícím útvarem je permokarbon, reprezentovaný převážně pískovci, jen ojediněle se vyskytují slínovce. V západní části Jevíčka se vyskytují křídové slínovce a tvrdé jílovce Českého masivu. Vyskytují se v malém množství svahoviny převážně kyselého materiálu. Podél Jevíčka a Malonínského potoka se vyskytují nevápnité naplaveniny, zejména v místech s nepropustnými vrstvami v půdním profilu. Na těchto karbonátových půdách se vyskytují především louky. Na odvápněných rendzinách se vyskytují hlinité půdy blízké se úrodnosti středoevropským hnědozemím. Po vykácení lesů byly tyto půdy přeměněny na zemědělskou ornou půdu a louky. Zbývající lesy jsou buď na půdách méně vhodných pro zemědělství, nebo na svazích. Podkladem půdotvorných písčitých hornin jsou slabě podzolované půdy v nadmořské výšce 300-350 m. V dolní aluviální části se na negativně utvářených plošinách a mírných svazích vyskytují především illimerizované půdy, méně glejové sprašové půdy, pseudogleje a polozemnice, do 1 % hnědé půdy a přibližně 1 % nevyvinutých půd. Pro kopce v okolí Jevíčka jsou typické slinité půdy, které dokonce daly jednomu z nich jméno - Červený kopec, lidově "Červeňák". (Strategický plán rozvoje města Jevíčko 2009–2015).



Obrázek 2 Dlouhodobá ztráta půdy (VUMOP)



Obrázek 3 Faktor délky a sklonu svahu (VUMOP)

6.2 Utužení půdy

Utužení půdy je mezinárodně uznáváno jako hrozba pro kvalitu zemědělské půdy a produktivitu (Alakukku, 2012). Je charakterizováno zmenšením pórového prostoru, v důsledku vnějšího nebo vnitřního zatížení. Zhutnění může nepříznivě ovlivnit téměř všechny fyzikální, chemické a biologické vlastnosti a funkce půdy (Whalley a kol, 1995). Spolu s půdní erozí je považováno za "nejnákladnější a nejzávažnější environmentální problém způsobený intenzivním zemědělstvím" (Food and Agriculture Organization, 2014).

Jako antropický vliv na rozpad půdní struktury s následným utužením Ministerstvo zemědělství uvádí :

- utužování půdy těžkými mechanismy zvláště za nevhodných vlhkostních podmínek,
- další způsoby nevhodné kultivace (orba na stejnou hloubku),
- vysoká závlaha půdy,
- pěstování monokultur s nízkým nebo žádným zastoupením víceletých pícnin v osevním postupu,
- vysoké hnojení draselnými hnojivami,
- acidifikace půdy,
- úbytek půdní organické hmoty .

Měření utužení bylo provedeno pomocí kapesního penetrometru. Penetrometr je zařízení, které se používá ke stanovení penetračního odporu vrstvy. Vzhledem k omezení celkové délky přístroje, kapesní penetrometr lze použít i pro horizontální měření, například v řezu půdního profilu.



Obrázek 4 Kapesní penetrometr, (Ekotechnika)

Kapesní penetrometr se používá speciálně ke stanovení penetračního odporu vrchních vrstev (hloubka měření 5 mm) a vzorků v terénu nebo v laboratoři. Rozsah měření 0,5 MPa. Kapesní penetrometr se skládá z pouzdra, pružiny, měřicího kolíku s plochým hrotem, kluzného kroužku a stupnice. Při zatlačení přístroje do země naráží kolík na sílu země. Pružina je touto silou stlačována. Při této operaci se vezme s sebou kluzný kroužek, který na stupnici ukazuje maximální sílu, na kterou bylo působeno. Stupnice byla kalibrována tak, aby bylo možné zjistit odpor při vpichu (Ekotechnika)

6.3 Vlhkost půdy

Vlhkost půdy je obsah vody v půdě. Lze ji vyjádřit pomocí objemu nebo hmotnosti (Zhang a kol., 2021). Půdní vlhkost je důležitou veličinou pro růst rostlin a spolu se srážkami a evapotranspirací je základní složkou hydrologického cyklu (Copernicus European Drought Observatory (EDO)).

Pro měření objemové půdní vlhkosti existují metody jako

- Metody přímé
- Metody nepřímé
 - TDR (Time Domain Reflectometry)
 - FD (Frequency Domain capacitance)
 - FDR (Frequency Domain Reflectometry)

Metody nepřímého měření půdní vláhly jsou široce používány ve výzkumném a praktickém využití jako alternativa ke gravimetrickému stanovení. "Nepřímé" se jim říká proto, že neměří přímo půdní vlhkost, ale jinou veličinu, která je na půdní vlhkosti závislá, a ze známého vztahu mezi touto měřenou veličinou a půdní vlhkostí lze s větší či menší přesností určit půdní vlhkost. Zřejmé jsou výhody jejich využití: nepřímé metody jsou nedestruktivní, výsledky měření jsou k dispozici okamžitě, měření lze provádět opakovaně na téže místě nebo lze realizovat stacionární měření řízená počítačem. Při dobré kalibraci jsou získaná měření dostatečně přesná pro většinu aplikací. Kalibrační měření se vždy provádí porovnáním s gravimetrickým stanovením vlhkosti půdy. Níže jsou uvedeny dvě v současnosti široce používané metody nepřímého měření půdní vlhkosti (Katedra vodních zdrojů).

Princip metody Time Domain Reflectometry (TDR)

Metoda TDR je relativně nová metoda používaná pro původní průzkum (poprvé uvedena Fellner-Feldegg v roce 1969). Metoda byla původně vyvinutá k detekci a lokalizaci porucha kabelů a od konce 70 let 20. století se často používá i ke stanovování půdní vlhkosti „in situ“ (Davis a kol., 1977).

TDR metoda je relativně nová metoda používaná při průzkumech původního prostředí (poprvé ji zavedl Fellner-Feldegg v roce 1969). Původně byla tato metoda vyvinuta pro zjišťování a lokalizaci kabelových poruch a od konce 70. let 20. století se často používá ke stanovení vlhkosti půdy "in situ" (Davis et al., 1977).

- Při instalaci senzoru do půdy je třeba dbát zvláštní opatrnosti a vyhnout se kamenitým oblastem. Pomocí instalačních jehel připravte otvory pro vstup jehel senzoru. Instalační jehly je třeba opatrně vytáhnout a neotáčet s nimi, aby byl zajištěn dobrý kontakt mezi senzorem a půdou.

- Měření je třeba několikrát zopakovat, aby byl výsledek reprezentativní (např. měření ve vzduchové kapse (...myší díře) poskytne jiný výsledek).

- Nabít baterii.

Jednou z relativně velmi přesných a spolehlivých metod je metoda TDR, ale některé měřicí přístroje jsou drahé. U některých typů pud však není nutná žádná speciální kalibrace. Některé přístroje však lze použít k opakovaným a automatizovaným měřením. Mezi nevýhody této metody patří zejména omezená použitelnost v půdách s vysokou koncentrací rozpuštěných solí, vysokým obsahem organických látek nebo jílovitých složek, kde je pro stanovení konstant ve vypočtených algoritmech nutná speciální kalibrace (Barták, 2015).

Princip metody FD (Frequency Domain capacitance) a FDR (Frequency Domain Reflectometry)

Kapacita kondenzátoru, kde je jako dielektrikum použita půda, závisí na vlhkosti půdy θ . Pokud je kondenzátor z kovových desek nebo jehel umístěných v půdě připojen k oscilátoru a tvoří elektrický obvod, lze změny vlhkosti půdy detekovat na základě indukovaných změn pracovní frekvence obvodu. Změny této frekvence od základní frekvence jsou základem pro FD a FDR senzory pro měření vlhkosti půdy. Při použití kapacitních snímačů (FD) se relativní permitivita ϵ půdy určuje na základě měření doby nabíjení kondenzátoru v dané půdě. V případě FDR se frekvence oscilátoru řídí v určitém rozsahu, aby se určila rezonanční frekvence (která odpovídá nejvyšší amplitudě) odpovídající vlhkosti půdy (Muñoz-Carpena et al., 2006). Sondy se obvykle skládají ze dvou nebo více elektrod (destiček nebo jehel), které jsou umístěny v půdě. Při působení elektrického pole působí půda v okolí elektrod jako dielektrický kondenzátor, a tím uzavírá oscilační obvod. Měření může být ovlivněno teplotou, slaností, objemovou hustotou půdy a obsahem jílu v půdě. Proto se doporučuje provést kalibraci pro každou jednotlivou půdu. (Katedra vodních zdrojů).

- Před zahájením měření je třeba ověřit nastavení čtecího zařízení nebo zadat vlastní kalibraci.
- Zvláštní pozornost je třeba věnovat instalaci snímače do půdy, aby nedošlo k jeho poškození a aby byl zajištěn dobrý kontakt s půdou.
- Měření je třeba několikrát po sobě opakovat.
- Doporučuje se mít u sebe náhradní baterie pro čtecí zařízení pro případ potřeby.

Pro měření byla vybrána metoda TDR. A vlhkost půdy byla měřena přístrojem SM150 Kit (viz obr)



Obrázek 5 Sada pro měření vlhkosti půdy SM150 , (Delta-T Devices)

Sada pro měření vlhkosti půdy SM150 představuje cenově dostupný a snadno použitelný nástroj pro získání spolehlivých měření vlhkosti s minimálním narušením půdy nebo substrátu.

Sada se skládá ze senzoru půdní vlhkosti SM150T, speciálního vlhkoměru HH150 a přenosného kufříku. Kabel a konektor jsou vodotěsné – což je nezbytný požadavek pro potenciálně vlhké prostředí. Měřič HH150 zobrazuje objemový obsah vody (% objemu).

Ruční vlhkoměr HH150 je lehký a jeho použití je velmi snadné, protože se jedná pouze o odečítací zařízení (bez záznamu dat nebo komplikací s počítačem). Obsluha je jednoduchá – stačí vložit měřič SM150T do půdy nebo substrátu a stisknutím tlačítka Read provést odečet.

Sada SM150 je dodávána s kalibrací substrátu pro minerální substrát, směs rašeliny, kokosové vlákno, minerální vlnu a perlit (a také poskytuje výstupní napětí) - poskytuje rychlé a spolehlivé řešení pro kontrolu jednotnosti pěstebních podmínek pro mnoho typů pěstebních substrátů.

SM150T se snadno zavádí a instaluje – jeho ostré kolíky minimalizují narušení půdy a zachovávají původní strukturu půdy kolem měřících tyčí (Delta-T Devices).

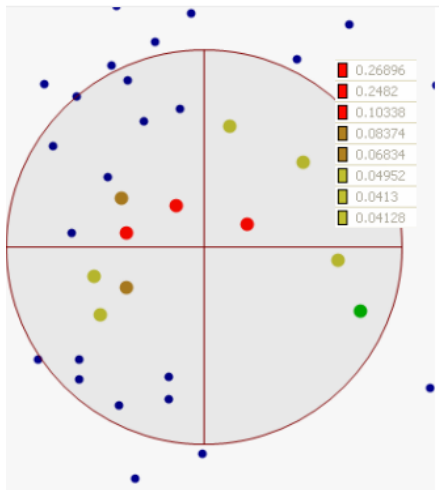
6.4 Metoda IDW

Výsledky měření utužení a vlhkosti půdy byly zpracovány prostřednictvím geografické informačního systému GIS.

Při tomto postupu se vychází ze známých hodnot a neznámé body se odhadují pomocí interpolace (esri).

Interpolace s vážením inverzní vzdálenosti (IDW) je matematický (deterministický) předpoklad, že bližší hodnoty jsou svou funkcí příbuznější než vzdálenější hodnoty.

IDW předpokládá, že každý měřený bod má lokální vliv, který se vzdáleností klesá. Bodům, které jsou nejbližší místu předpovědi, přisuzuje větší váhy a tyto váhy se zmenšují v závislosti na vzdálenosti, odtud název inverzní vážená vzdálenost. Váhy přiřazené datovým bodům jsou znázorněny na následujícím obrazu:



Obrázek 6 Váhy přiřazené datovým bodům, (esri)

Jak bylo uvedeno výše, váhy jsou úměrné inverzní hodnotě vzdálenosti (mezi datovým bodem a místem predikce) zvýšené na mocninu p . V důsledku toho se s rostoucí vzdáleností váhy rychle snižují. Rychlost, s jakou se váhy snižují, závisí na hodnotě p .

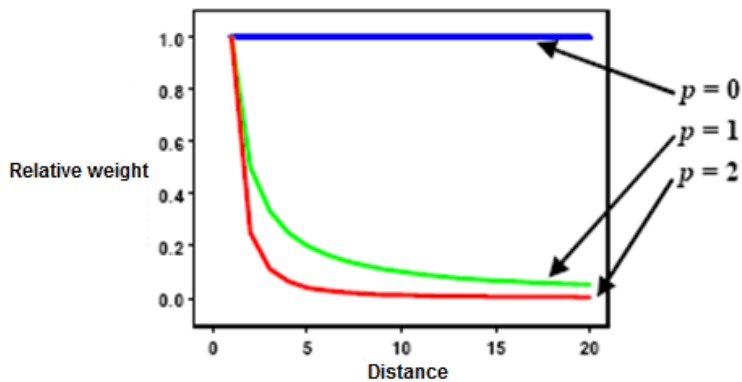
Z toho vyplývá, že váhy se řídí jediným prostorovým modelem – inverzní vzdáleností modifikovanou vhodnou mocninou:

Rov. 2

$$\lambda_i = \frac{1}{d_{i,0}^p} \Bigg/ \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{i,0}^p} ,$$

kde $d_{i,0}$ je vzdálenost mezi známým a určovaným bodem, p je parametr, který se volí $p = 1, 2$ nebo 3 . Čím nižší je hodnota tohoto parametru, tím podobnější váhy jsou přiřazené měřeným

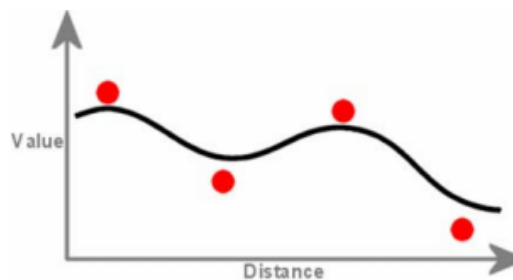
bodům a výsledný odhad se blíží aritmetickému průměru. V případě, že p by se rovnalo nule, všechny váhy budou stejné bez ohledu na rozmístění měřených bodů a odhad bude rovný aritmetickému průměru. Čím vyšší je hodnota parametru, tím rozdílnější jsou váhy – vzdálenější body mají nižší váhu, bližší body vyšší (obr. 7). Nejčastěji používaný exponent je 2.



Obrázek 7 Snížení hmotnosti se vzdáleností, (esri)

Nedostatkem této metody je tvorba koncentrických izolinií (bull eyes) okolo vstupních bodů. Důvodem je silný vliv těchto bodů ve svém okolí, především při volbě vyšší hodnoty exponentu. Pro zmírnění tohoto jevu se zavádí vyhlazovací parametr σ . Při použití parametru σ se tato metoda mění z exaktní na aproximující (obr.8).

Metoda IDW nedokáže vypočítat hodnoty vyšší nebo nižší než jsou hodnoty vstupních dat. Pokud tedy nemáme k dispozici body měřené v místech s extrémními hodnotami, dochází v těchto místech ke zkreslení (Sárkozy,1998).

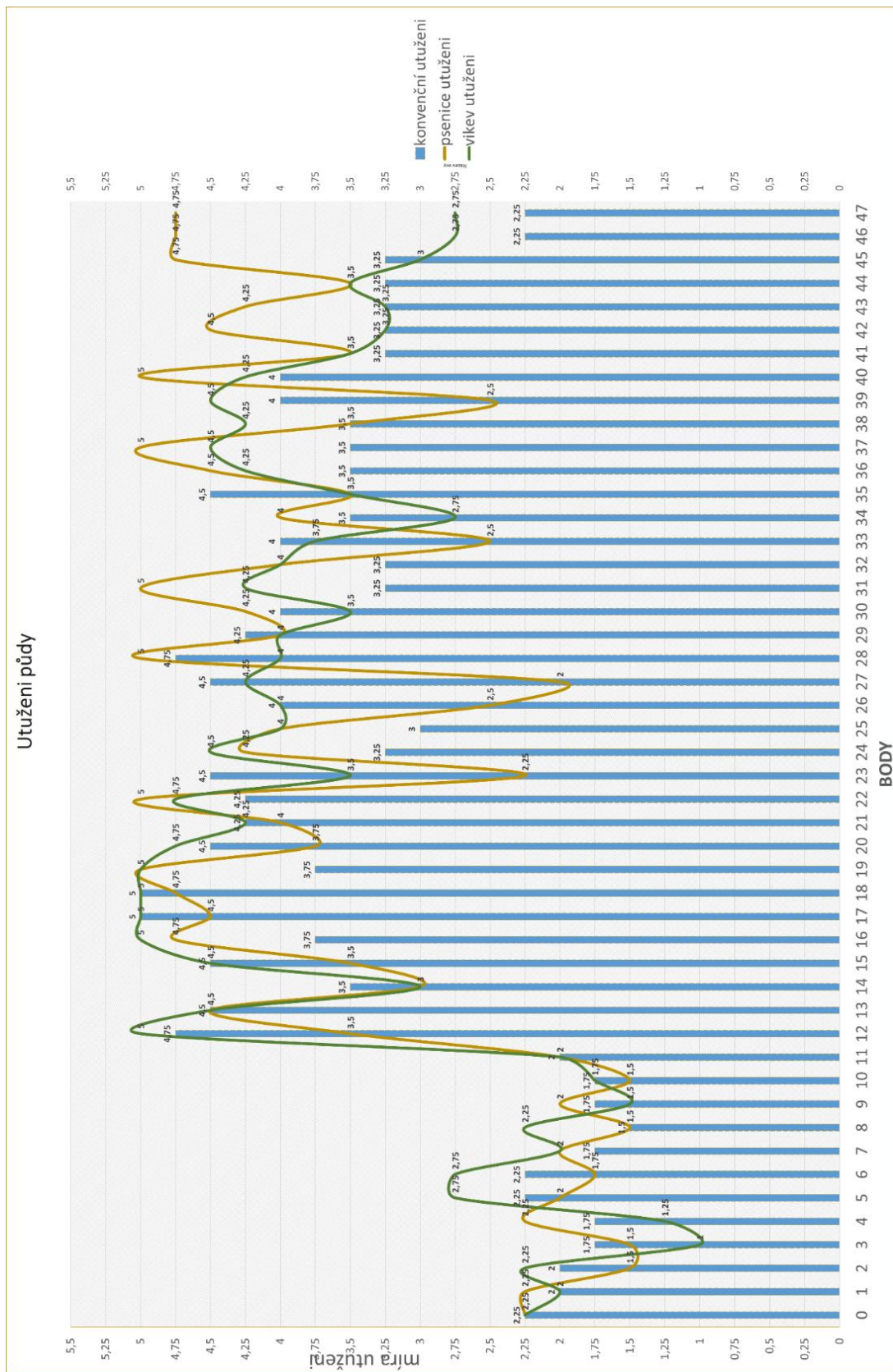


Obrázek 8 Povrch vytvořený pomocí krigingu (esri)

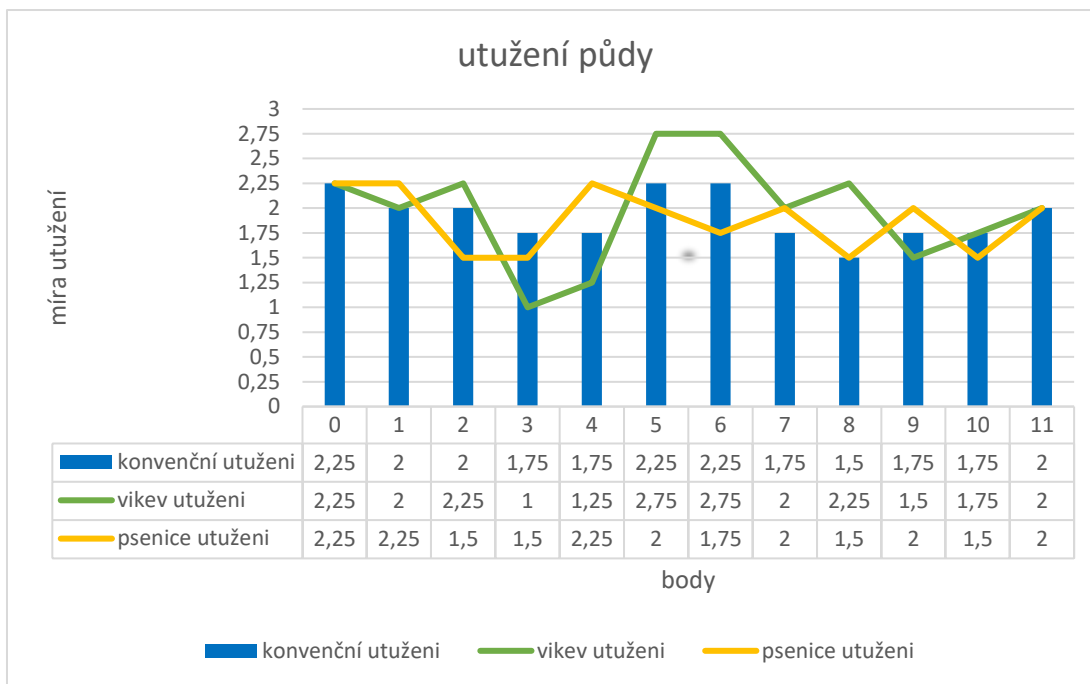
6.5 Výsledky

V 1.grafu uvedeném, níž jsou znázorněné výsledky měření utužení pudy pro variantu konvenční a variantu pěstování kukuřici s vikvi a pšenici. Při porovnání nasbíraných dat jsou zřejmé změny v hodnotách míry utužení.

Graf 1 Výsledky měření utužení rok 2019, (autor ve spolupráce s VUMOP)

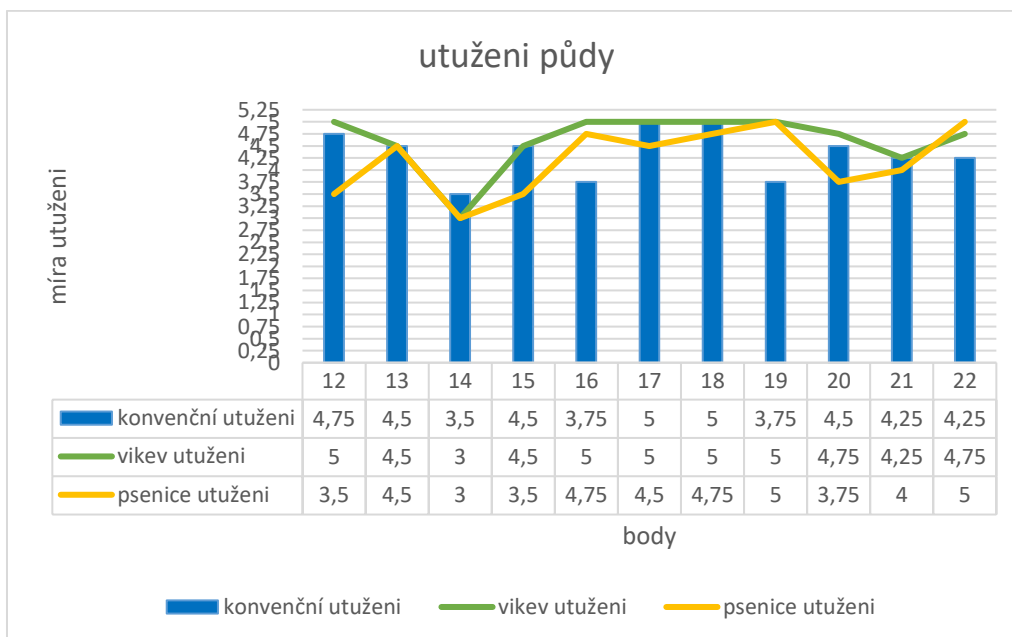


Graf 2 Výsledky měření utužení rok 2019 (body 0 až 11),(autor ve spolupráce s VUMOP)



Graf 2 ukazuje naměřené hodnoty míry utužení půdy pro prvních 12 bodů. Výsledky porovnání průměrných hodnot těchto 12ti bodů jsou odlišné od porovnání celkového průměru měření. Průměrná hodnota pro variantu konvenční je 1,92 kg/cm² kdyžto pro variantu pěstování s vikvi je 1,98 kg/cm² oproti variantě s podsevem pšenice kdy průměr měření je 1,88 kg/cm². Z čehož můžeme usoudit, že je technologie pěstování s podsevy má vliv na utužení půdy, ale pro další a přesnější posouzení je nutné porovnání i dalších úseku měření.

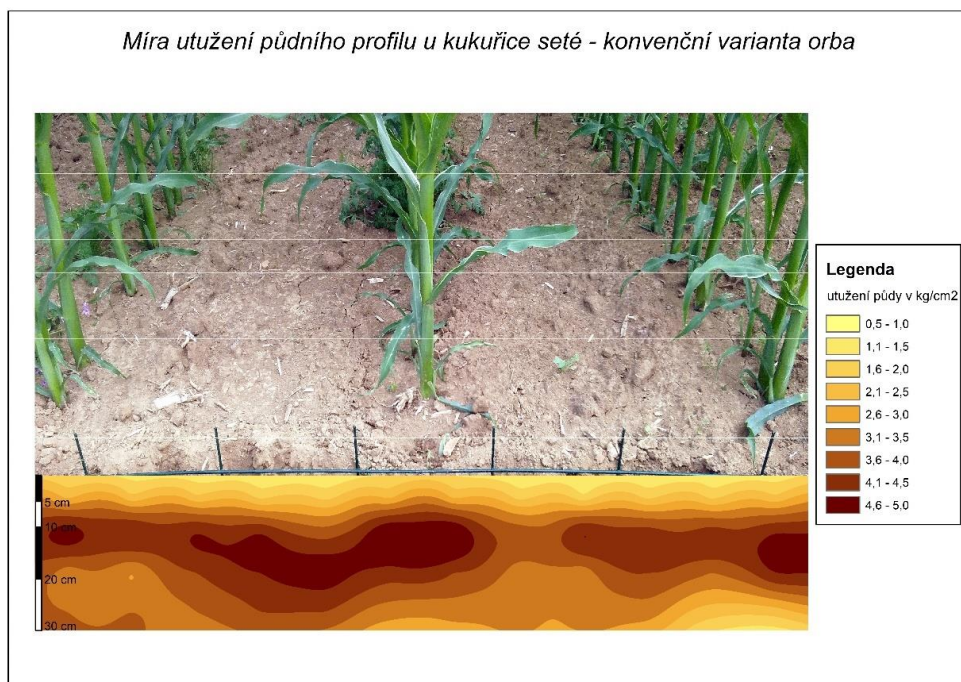
Graf 3 Výsledky měření utužení rok 2019 (body 12 až 22),(autor ve spolupráce s VUMOP)



Účinnost technologií pěstování se prokázala i při následném porovnání měřených hodnot bodu 12 až 22. Rozdíl celkového průměru hodnot výsledku u konvenční varianty činí 4,34 kg/cm². Varianta s pěstováním vikve má průměr 4,61 kg/cm², a jako nejvíce efektivní se ukázala varianta s pěstováním pšenice u které je průměr 4,20 kg/cm².

Minimální míra utužení při variantě konvenční je 1,50 kg/cm. Oproti tomu, u varianty pěstování s vikvi je minimální hodnota 1 kg/cm². A minimální hodnota u varianty pěstování s pšenicí je 1,50 kg/cm².

Pro následné porovnání dat a jejich znázornění zde jsou uvedené výsledky zpracování naměřených dat metodou IDW v GIS.



Obrázek 9 Míra utužení půdního profilu u kukuřice seté- konvenční varianta orba, (autor ve spolupráce s VUMOP)

Míra utužení půdního profilu u kukuřice seté - varianta podsev vikev huňatá



Obrázek 10 Míra utužení půdního profilu u kukuřice seté-varianta podsev vikev huňatá,(autor ve spolupráce s VUMOP)

Míra utužení půdního profilu u kukuřice seté - varianta podsev pšenice ozimá



Obrázek 11 Míra utužení půdního profilu u kukuřice seté- varianta podsev pšenice ozimá, (autor ve spolupráce s VUMOP)

Porovnáním výsledků zpracování metodou IDW výše zmíněných obrázků je nezanedbatelná funkčnost technologií pěstování s podsevy. Na těchto obrázcích jsou znázorněny změny utužení půdy. Podle obrázku č.9 utužení při variantě konvenční se pohybuje převážně mezi 3,6 kg/cm² až 5 kg/cm² na hloubce od 10 cm do 20 cm, kdyžto při variantě

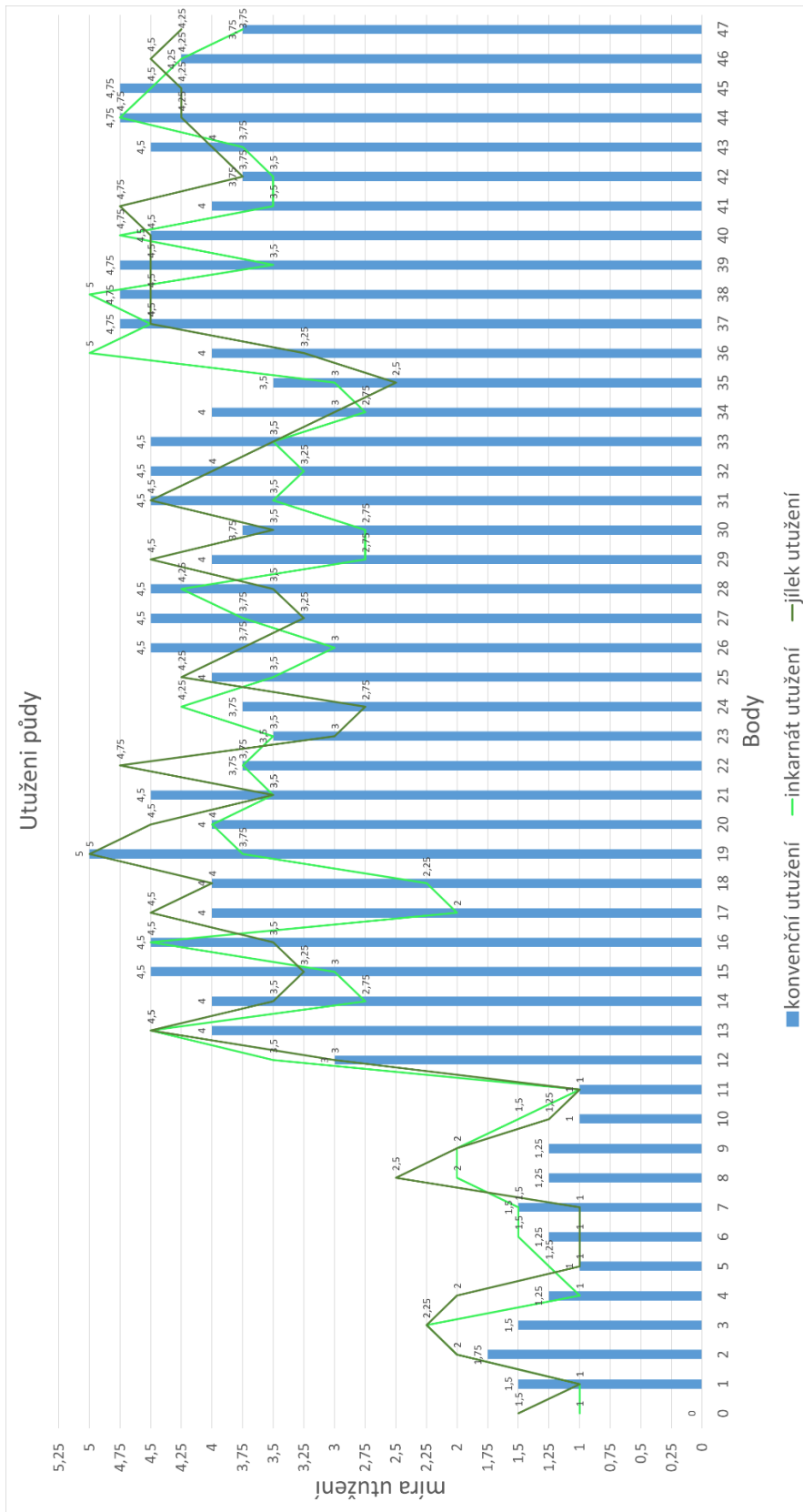
pěstování pšenici (obr. 11) se na stejné hloubce v meziřadí pohybuje mezi 1,5 kg/cm² až 3,5 kg/cm². Z toho je zřejmý vliv podsevové plodiny na míru utužení půdy a její vliv na erozní procesy.

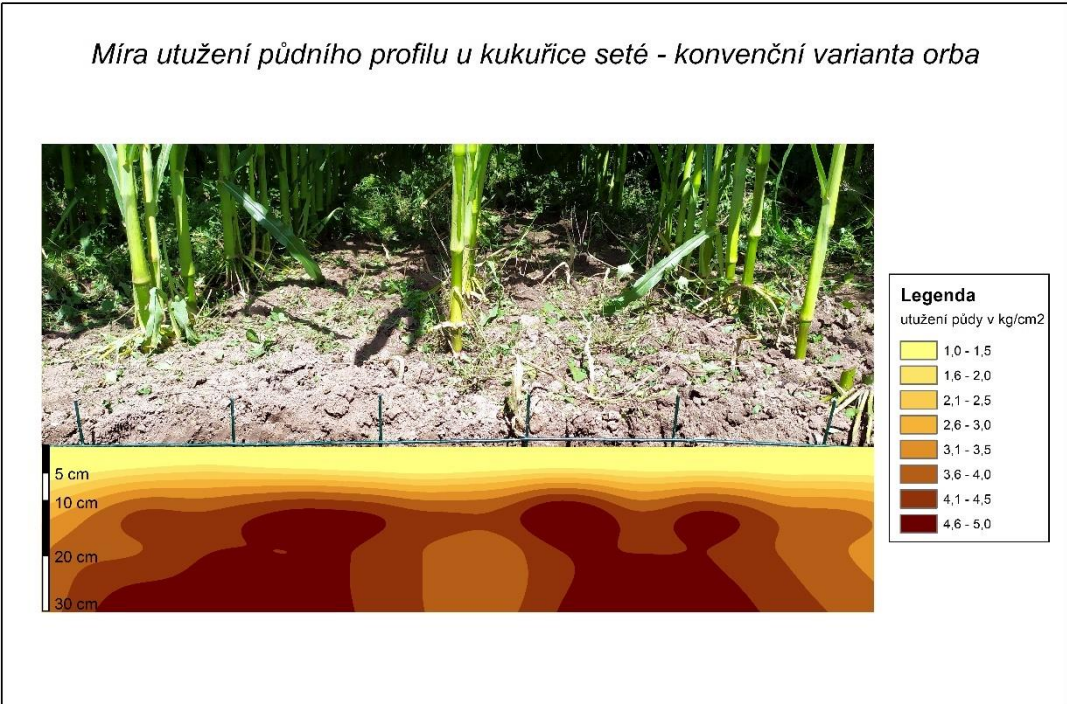
V následujícím roce byly výsledky potvrzené. V grafu č.4 uvedeném níže jsou výsledky měření z roku 2020 podle kterých můžeme sledovat, že se nastala podobná situace jako v roce 2019 a byla prokázána účinnost metody pěstování kukuřice s podsevy na míru utužení půdy. V roce 2020 jako podsevové plodiny byly vybrány Jetel inkarnát a jílek mnohokvětý. Celkový průměr míry utužení pro variantu konvenční byl 3,47 kg/cm², pro variantu pěstování s jetelem 3,13 kg/cm², s jílkem 3,32 kg/cm².

	Celkový průměr	Průměr bodů 0 až 11	Průměr bodů 12 až 22
Konvenční varianta	3,47 kg/cm ²	1,27 kg/cm ²	4,11
Pěstování s jetelem	3,13 kg/cm ²	1,5 kg/cm ²	3,41 kg/cm ²
Pěstování s jílkem	3,32 kg/cm ²	1,54 kg/cm ²	4 kg/cm ²

Tabulka 5 Porovnání výsledku měření míry utužení za rok 2020, (autor ve spolupráci s VUMOP)

Graf 4 Výsledky měření utužení rok 2020, (autor ve spolupráce s VUMOP)





Obrázek 12 Míra utužení půdního profilu u kukuřice seté – konvenční varianta orba, (autor ve spolupráci s VUMOP)



Obrázek 13 Míra utužení půdního profilu u kukuřice seté-varianta podsev jetel inkarnát, (autor ve spolupráci s VUMOP)

Míra utužení půdního profilu u kukuřice seté - varianta podsev jílek mnohokvětý

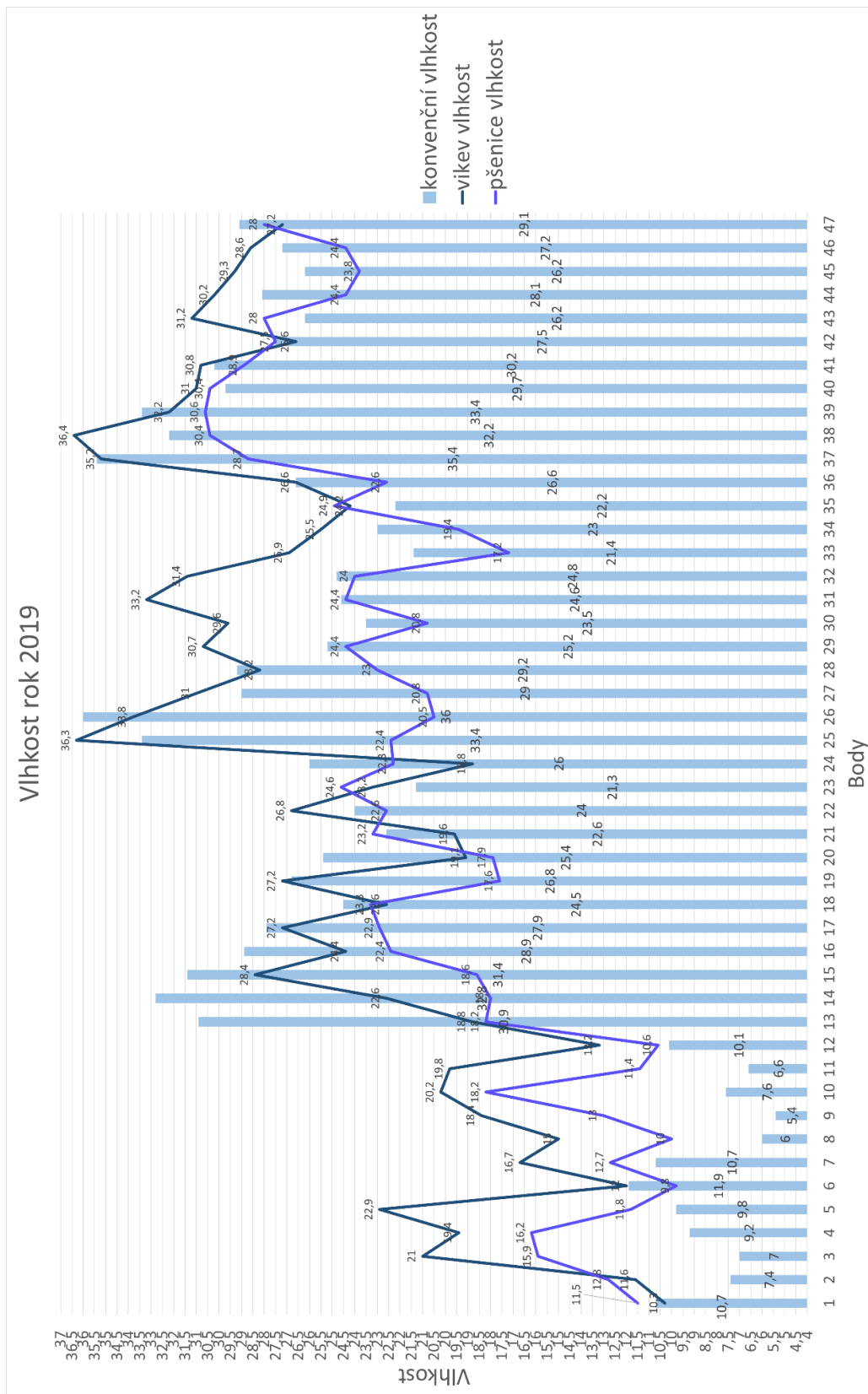


Obrázek 14 Míra utužení půdního profilu u kukuřice seté-varianta podsev Jílek mnohokvětý, (autor ve spolupráci s VUMOP)

Obrázky 12 až 14 uvádějí zpracování výsledků měření utužení půdy z roku 2020.

Který dokazují že technologie pěstování s podsevy má nezanedbatelný vliv na míru utužení půdy, a to tak že když porovnáme variantu konvenční a metodu pěstování s jetelem je zřejmý to že hodnoty míry utužení při první variantě se převážně pohybují v rozmezí 3,1 kg/cm² až 5,0 kg/cm², kdyžto při variantě druhé 4,5 kg/cm² až 2,0 kg/cm². a výrazně se zmenšilo množství ploch zastupujících půdu mírou utužení 4,6 kg/cm² až 5 kg/cm². Metoda pěstování s jíllem taky prokázala trend snížení míry utužení. Při porovnání měření vlhkosti můžeme taky konstatovat pozitivní vliv podsevu.

Graf 5 Výsledky měření vlhkosti rok 2019, (autor ve spolupráci s VUMOP)



Pozitivní vliv technologií se prokázal i pomocí měření vlhkosti půdy. Celkový průměr hodnot, které byly změřené za varianty konvenční v roce 2019 je 22,87 % pro variantu pěstování s vikvi celkový průměr je 25,07 %. Což ukazuje na to, že na základě porovnání celkového průměru se vlhkost zvětšila o 2,2 % při variantě pěstování s podsevem vikvi oproti variantě konvenční. Nejvýše dosaženou hodnotou při měření v řezu půdního profilu za varianty klasické je 36 % a 36,4 %, což také poukazuje na splnění původního předpokladu. Dalším ukazatelem je i rozdíl mezi minimálními hodnoty 5,4 % za konvenční oproti 10,3 % za pěstování s vikvi.

Porovnáme-li konvenční variantu s variantou kdy kukuřice byla pěstována společně s pšenicí pomocí celkového průměru, což je 22,87 % u konvenční varianty a 20,91 % u pěstování s pšenicí, tak celkový průměr hodnot nám ukazuje že se vlhkost při variantě s pšenicí snížila. Následně porovnáním maximálních a minimálních hodnot však zjistíme že minimální hodnota u varianty s pšenicí se zvýšila o 4,4 % .



Obrázek 15 Vlhkost půdního profilu u kukuřice seté – konvenční varianta orba (autor ve spolupráci s VUMOP)



Obrázek 16 Vlhkost půdního profilu u kukuřice seté – varianta podsev pšenice ozimá, (autor ve spolupráci s VUMOP)



Obrázek 17 Vlhkost půdního profilu u kukuřice seté – varianta podsev vikev huňatá, (autor ve spolupráci s VUMOP)

V níže uvedené tabulce jsou výsledky roku 2020

	celkový průměr (%)	maximální hodnota (%)	minimální hodnota (%)
konvenční varianta	28,4	34,9	14,3
pěstování s jetelem	26,57	35,6	16,8
pěstování s jílkem	29,75	39,6	16,7

Tabulka 6 Porovnání výsledku měření vlhkosti za rok 2020, (autor ve spolupráce s VUMOP)



Obrázek 18 Vlhkost půdního profilu u kukuřice seté – konvenční varianta orba (autor ve spolupráci s VUMOP)



Obrázek 19 Vlhkost půdního profilu u kukuřice seté – varianta podsev jilek mnohokvětý (autor ve spolupráci s VUMOP)



Obrázek 20 Vlhkost půdního profilu u kukuřice seté – varianta podsev jetel inkarnát (autor ve spolupráci s VUMOP)

7. Diskuse

Cílem práce bylo zjistit, zda technologie pěstování s podsevovou plodinou je efektivní jako protierozní opatření, což se předpokládalo na začátku. Pomocí statistického zpracování výsledků se potvrdil předpoklad o potenciálu funkčnosti této metody.

Pro hodnocení metody byla použita data měření utužení a vlhkosti půdy. Tyto hodnoty byly výsledkem měření kapesního penometru pro utužení a přístrojovou sadou SM150 Kit pro vlhkost půdy. Statistické vyhodnocení pomocí porovnání na základě celkového průměru a maximální a minimální hodnot měření prokázalo účinnost technologií.

Hodnoty měřené v roce 2019 a 2020 byly porovnány statistickou metodou. Varianta konvenční vždycky byla porovnána s variantou s podsevy.

Vach (2008) ve studiích zmiňuje že vhodně zvolený osevní postup je velmi účinným a zároveň nejlevnějším agrobiologickým intenzifikačním opatřením, které pozitivně ovlivňuje využití živin z minerálních a organických hnojiv a má nepřímý vliv na ochranu plodin před škodlivými činiteli. Což se taky prokázalo pomocí výsledků této práce. Které mohou být učené jak pro budoucí rozvoj v oblasti agrotechnických opatření. Myslím si že výhodou této metody je úsporné hospodaření na zemědělských pozemcích.

Xiaoqin Yang a kol., 2020 Ve své práci dokazují, že pěstování hrušní v meziřadí s houbami významně zvýšilo počet a biomasu kultivovatelných mikroorganismů ve vrstvě půdy 0-40 cm a mělo výrazný vliv na úrodnost půdy v hrušňovém sadu a kvalitu plodů hrušní. Z čehož plyne že mimo protierozního efektu technologie, kterou se zabývá tato práce, by mohla mít významný pozitivní vliv na kvalitu půdy a obsah mikroorganismů v ní.

Fyzikální síly působící na půdu vedou k jejímu zhutnění, které narušuje strukturu půdy, omezuje přístup vzduchu do půdy, infiltraci vody, snižuje pórovitost půdy a výnosy plodin, jak zmiňují ve své studii (Yavaş a Ünay, 2015).

Údaje této studie týkající se zhutnění půdy ukázaly, že mezi plodiny kukuřice se sójou a hráškem zvyšují utužení půdy v důsledku intenzivního obdělávání půdy.

V současné fázi rozvoje zemědělsko-průmyslového komplexu republiky, kdy byla půda převedena do soukromého užívání, se každý vlastník snaží maximalizovat efektivitu své orné půdy. Proto je to téma, kterým se zabývá práce důležité a aktuální.

8. Závěr

Teoretická část práce byla věnována obecné problematice erozi. Jejím členěním a popisem jednotlivých typů eroze.

Další část práce se zaměřuje na rozbor vodní a větrné eroze, příčin a důsledků a důsledků jejich výskytu. Následuje popis výpočtu průměrné roční ztráty půdy pomocí univerzální rovnice USLE a jednotlivých faktorů této rovnice a jejich vliv na erozi.

Dále se práce zabývá protierozními opatřeními a následně se víc zaměřuje na opatření agrotechnického charakteru. A proč jsou tato opatření důležitá.

Závěr teoretické části je věnován protieroznímu způsobu pěstování kukuřice.

V rámci metodiky práce je popsáno zkoumané území (půdní blok 4301-0) a jeho charakteristiky.

Součástí praktické části je věnování se tématu utužení a vlhkosti půdy, metodami jejich měření a přístroji, které byly pro tato měření použity.

V praktické části bylo vyhodnoceno, jaký vliv má technologie pěstování kukuřice s podsevovou plodinou z hlediska omezení utužení půdního profilu a množství půdní vláhy. Tyto parametry následně byly porovnávány s konvenčním způsobem pěstování kukuřice. Výsledky byly statisticky porovnány a následně zpracovány metodou IDW.

Zpracování výsledků ukazuje, že technologie pěstování kukuřice s podsevy dokáže snížit půdní erozi skoro o polovinu oproti variantě konvenční. Což by mohlo mít velký význam pro budoucí řešení problematiky vodní eroze, a dále je nezanedbatelný potenciální dopad na kvalitu půdy.

Jako výhody této metody vidím zřejmý protierozní efekt, pozitivní vliv na kvalitu půdy, možnost pěstování více plodin zároveň, což následně zvyšuje potenciální výnosy na jednotku orné půdy.

9. Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 MAPA PŮDNÍHO BLOKU 4301-0, (MAPY LPIS)	31
OBRÁZEK 2 DLOUHODOBÁ ZTRÁTA PŮDY (VUMOP)	33
OBRÁZEK 3 FAKTOR DÉLKY A SKLONU SVAHU (VUMOP)	33
OBRÁZEK 4 KAPESNÍ PENETROMETR, (EKOTECHNIKA).....	34
OBRÁZEK 5 SADA PRO MĚŘENÍ VLHKOSTI PŮDY SM150 , (DELTA DEVICES)	38
OBRÁZEK 6 VÁHY PŘÍRAZENÉ DATOVÝM BODŮM, (ESRI).....	39
OBRÁZEK 7 SNÍŽENÍ HMOTNOSTI SE VZDÁLENOSTÍ, (ESRI)	40
OBRÁZEK 8 POVRCH VYTVOŘENÝ POMOCÍ KRIGINGU (ESRI)	40
OBRÁZEK 9 MÍRA UTUŽENÍ PŮDNÍHO PROFILU U KUKUŘICE SETÉ- KONVENČNÍ VARIANTA ORBA, (AUTOR VE SPOLUPRÁCE S VUMOP).....	43
OBRÁZEK 10 MÍRA UTUŽENÍ PŮDNÍHO PROFILU U KUKUŘICE SETÉ-VARIANTA PODSEV VIKEV HUŇATÁ,(AUTOR VE SPOLUPRÁCE S VUMOP).....	44
OBRÁZEK 11 MÍRA UTUŽENÍ PŮDNÍHO PROFILU U KUKUŘICE SETÉ- VARIANTA PODSEV PŠENICE OZIMÁ, (AUTOR VE SPOLUPRÁCE S VUMOP).....	44
OBRÁZEK 12 MÍRA UTUŽENÍ PŮDNÍHO PROFILU U KUKUŘICE SETÉ- KONVENČNÍ VARIANTA ORBA, (AUTOR VE SPOLUPRÁCI S VUMOP).....	47
OBRÁZEK 13 MÍRA UTUŽENÍ PŮDNÍHO PROFILU U KUKUŘICE SETÉ-VARIANTA PODSEV JETEL INKARNÁT, (AUTOR VE SPOLUPRÁCI S VUMOP).....	47
OBRÁZEK 14 MÍRA UTUŽENÍ PŮDNÍHO PROFILU U KUKUŘICE SETÉ-VARIANTA PODSEV JÍLEK MNOHOKVĚTÝ, (AUTOR VE SPOLUPRÁCI S VUMOP)	48
OBRÁZEK 15 VLHKOST PŮDNÍHO PROFILU U KUKUŘICE SETÉ – KONVENČNÍ VARIANTA ORBA (AUTOR VE SPOLUPRÁCI S VUMOP).....	50
OBRÁZEK 16 VLHKOST PŮDNÍHO PROFILU U KUKUŘICE SETÉ – VARIANTA PODSEV PŠENICE OZIMÁ, (AUTOR VE SPOLUPRÁCI S VUMOP).....	51
OBRÁZEK 17 VLHKOST PŮDNÍHO PROFILU U KUKUŘICE SETÉ – VARIANTA PODSEV VIKEV HUŇATÁ, (AUTOR VE SPOLUPRÁCI S VUMOP).....	51
OBRÁZEK 18 VLHKOST PŮDNÍHO PROFILU U KUKUŘICE SETÉ – KONVENČNÍ VARIANTA ORBA (AUTOR VE SPOLUPRÁCI S VUMOP).....	52
OBRÁZEK 19 VLHKOST PŮDNÍHO PROFILU U KUKUŘICE SETÉ – VARIANTA PODSEV JÍLEK MNOHOKVĚTÝ (AUTOR VE SPOLUPRÁCI S VUMOP)	53
OBRÁZEK 20 VLHKOST PŮDNÍHO PROFILU U KUKUŘICE SETÉ – VARIANTA PODSEV JETEL INKARNÁT (AUTOR VE SPOLUPRÁCI S VUMOP).....	53

10. Seznam tabulek

TABULKA 1 KLASIFIKACE PLOŠNÉ EROZE PODLE INTENZITY, (JANEČEK, 2008)	12
TABULKA 2 SPECIFIKACE JEDNOTLIVÝCH ZÁKLADNÍCH FOREM PROJEVŮ VODNÍ EROZE (NOVOTNÝ, 2017)	15
TABULKA 3 TYPY PŮDNÍHO POKRYVU A ODPOVÍDAJÍCÍ C HODNOTY (DUMAS A KOL., 2009)	19
TABULKA 4 VZDÁLENOST PŮDNÍCH ČÁSTIC UNÁŠENÝCH VĚTREM V ZÁVISLOSTI NA JEJICH VELIKOSTI (JANEČEK A KOL., 2007).....	24

TABULKA 5 POROVNANÍ VÝSLEDKU MĚŘENÍ MÍRY UTUŽENÍ ZA ROK 2020 ,(AUTOR VE SPOLUPRÁCE S VUMOP).....	45
TABULKA 6 POROVNANÍ VÝSLEDKU MĚŘENÍ VLHKOSTI ZA ROK 2020 ,(AUTOR VE SPOLUPRÁCE S VUMOP).....	52
TAB3.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.

11. Seznam grafu

GRAF 1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ UTUŽENÍ ROK 2019, (AUTOR VE SPOLUPRÁCE S VUMOP)	41
GRAF 2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ UTUŽENÍ ROK 2019 (BODY 0 AŽ 11),(AUTOR VE SPOLUPRÁCE S VUMOP)	41
GRAF 3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ UTUŽENÍ ROK 2019 (BODY 12 AŽ 22),(AUTOR VE SPOLUPRÁCE S VUMOP)	42
GRAF 4VÝSLEDKY MĚŘENÍ UTUŽENÍ ROK 2020, (AUTOR VE SPOLUPRÁCE S VUMOP).....	46
GRAF 5 GRAF 4VÝSLEDKY MĚŘENÍ VLHKOSTI ROK 2019, (AUTOR VE SPOLUPRÁCI S VUMOP)	49

11. Seznam literatury

1. Benavidez R., B. Jackson, D. Maxwell, K. Norton., A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): With a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates., *Hydrol Earth Syst Sci*, 22 (2018), pp. 6059-6086, 10.5194/hess-22-6059-2018
2. Barták, Půda a její charakteristiky ve vztahu k fotosyntéze rostlin a fotosyntetické produkci, 2015.
3. Blanco H., Lal R. (2008): Principles of soil conservation and management. Springer, Dordrecht.
4. Blavet D., De Noni G., Le Bissonnais Y., Leonard M., Maillo L., Laurent J. Y., Asseline J., Leprun J. C., Arshad M. A., Roose E., 2009: Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards. *Soil Tillage Research* 106: 124 – 136.
5. Campiglia E., Mancinelli R., Di Felice V., Radicetti E., 2014: Long-term residual effects of the management of cover crop biomass on soil nitrogen and yield of endive (*Cichorium endivia* L.) and savoy cabbage (*Brassica oleracea* var. *sabauda*). *Soil Tillage Research* 139: 1 – 7.
6. Cerdà A., 2001: Effects of rock fragments cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion. *European Journal Soil Science* 52: 59 – 68.
7. Copernicus European Drought Observatory (EDO)
8. Dahiya R., Ingwersen J., Streck T., 2007: The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: experimental findings and modeling. *Soil Tillage Research* 96: 52 – 63
9. De Silva S. H. S. A., Cook H. F., 2003: Soil physical conditions and performance of cowpea following organic matter amelioration of sand. *Commun. Soil Science and Plant Analysis* 34: 1039 – 1058.
10. Delta-T Devices, online
11. Desmet, G. Govers., A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units., *J Soil Water Conserv*, 51 (1996), pp. 427-433
12. Dumas P, Fossey M. Mapping Potential Soil Erosion in the Pacific Islands A case study of Efate Island (Vanuatu). 11Th Pacific Sci. Inter-Congress Pacific Ctries. their Ocean. facing local Glob. Chang., Papeete, French Polynesia: 2009.
13. Ekotechnika, online, dostupne z : <https://ekotechnika.cz/>
14. Esri, online dostupne z : <https://www.esri.com/en-us/home>
15. Fonte S. J., Barrios E., Six J., 2010: Earthworms, soil fertility and aggregate-associated soil organic matter dynamics in the Quesungual agroforestry system. *Geoderma* 155: 320–328.
16. Groen A. H., Woods S. W., 2008: Effectiveness of aerial seeding and straw mulch for reducing post-wildfire erosion, north-western Montana, USA. *International Journal of Wildland Fire* 17(5): 559 – 571.
17. Holý, M., 1978: Protierozní ochrana. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha: 288 str., první vydání, ISBN 04-722-78

18. Holý, M., 1994: Eroze a životní prostředí. Vydavatelství ČVUT, Praha: 383 str., první vydání, ISBN 80-01-01078-3.
19. Hůla J. a kol., Agrotechnická protierozní opatření, Metodika VÚMOP, Praha, 2003.
20. Janeček, M. a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Vyd. 1. Praha: ISV, 2002. 201 s. ISBN 80-85866-86-2.
21. Janeček, M., a kol., Ochrana zemědělské půdy před erozí, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i, 2007, 76 str., ISBN 987-80-254-0973-2
22. Janeček, Miloslav. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Vyd. 1. Praha: ISV nakladatelství, 2002, 201 s. ISBN 80-85866-86-2.
23. Janeček, Miloslav. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Vyd. 1. Praha: ISV nakladatelství, 2007, 59 s. ISBN 978-80-254-0973-2
24. Janeček M. a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika. ČZU Praha, 2012.
25. Janeček, M.: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha, 2008.
26. Jordán A., Zavala L. M., Gil J., 2010: Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena* 81: 77 – 85.
27. Kagabo D. M., Stroosnijder L., Visser S. M., Moore D., 2013: Soil erosion, soil fertility and crop yield on slow-forming terraces in the highlands of Rwanda. *Soil Tillage Research* 128: 23 – 29.
28. Karami A., Homae M., Afzalnia S., Ruhipour H., Basirat S., 2012: Organic resource management: impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. *Agriculture Ecosystem Environment* 148: 22 – 28.
29. Katedra Hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta Stavební, ČVUT v Praze), online, dostupné z
30. Katedra vodních zdrojů, dostupné z:
<http://hydropedologie.agrobiologie.cz/neprime.html>
31. Kincl, David, David KABELKA, Petr ČÁP, et al. Půdoochranné technologie pro pěstování kukuřice - účinnost před ztrátou živin vlivem vodní eroze: ověřená technologie. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2020. ISBN 978-80-88323-24-2. 3 str
32. Kincl, Kabelka, Srbek; Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., 2021
33. Lacková, E., RŮŽIČKOVÁ, K. a URBANCOVÁ, L. Degradace a ochrana půd: teorie a cvičení: výuková skripta. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3704-8.
34. Ministerstvo zemědělství, eAGRI, [on-line], dostupno z
(<https://eagri.cz/public/web/mze/>)
35. Ministerstvo zemědělství. ISBN 978-80-7084-996-5. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z:
<<http://www.enviweb.cz/clanek/voda/88299/prirucka-ochranyproti-vodni-erozi>>
36. Ministerstvo životního prostředí, online dostupné z <https://www.mzp.cz/>
37. Miština, T., Kováč, K. a kol., 1993: Ochranné obrábání pód. 1. vyd. Piešťany: Výzkumný ústav rostlinnej výroby, 167 s. ISBN 80-7137-125-4.
38. Mitasova H, Mitas L. Multiscale Soil Erosion Simulations For Land Use Management. In: Harmon RS, Doe WW, editors. *Landsc. Eros. Evol. Model.*, Boston, MA: Springer US; 2001, p. 321–47. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0575-4_11.
39. Moore I.D., G.J. Burch., Physical Basis of the Length-slope Factor in the Universal Soil Loss Equation

40. Muñoz-Carpena, R., Shukla, S., Morgan, K. (2006) Field devices for monitoring soil water content. Regional Extension Bulletin no. SR-IWM-2. The Irrigation Water Management Program Team of the Southern Regional Water Program. USDA-CSREES. Dostupné z: http://www.bae.ncsu.edu/topic/go_irrigation/docs/Field-devices-monitoring-.pdf
41. Novotný I. a kol., Příručka ochrany proti vodní erozi. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha, 2014. 37 s.
42. Novotný I. a kol., Příručka ochrany proti vodní erozi. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha, 2017.
43. Oficiální stránky města Jevíčko, online , dostupné z : <https://www.jevicko.cz/>
44. Podhrázká, J. a KOZLOVSKY DUFKOVÁ, J. Protierozní ochrana půdy. 1. vydání. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005., ISBN 80-715-7856-8.
45. Prats S. A., dos Santos Martins M. A., Malvar M. C., Ben-Hur M., Keizer J. J., 2014: Polyacrylamide application versus forest residue mulching for reducing post-fire runoff and soil erosion. *Science of the total environment* 468: 464 – 474.
46. Qin J., Hu F., Zhang B., Wei Z., Li H., 2006: Role of straw mulching in noncontinuously flooded rice cultivation. *Agricultural Water Management* 83: 252 – 260.
47. Rejšek, K. a Vácha, R. (2018). *Nauka o půdě*. Agripriint, Olomouc. 467s. ISBN: 978-80-87091-82-1.
48. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C. (1997) Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture Handbook No. 703*, US Department of Agriculture, Washington DC, 1-251.
49. Riddle W. C., Gillespie T. J., Swanton C. J., 1996: Ryemulch characterization for the purpose of microclimatic modelling. *Agricultural and Forest Meteorology* 78: 67 – 81.
50. Sadeghi S. H. R., Gholami L., Homae M., Khaledi Darvishan A., 2015: Reducing sediment concentration and soil loss using organic and inorganic amendments at plot scale. *Soild Earth* 6: 445 – 455.
51. Sárkozy.Y, F.,1998: Gis functions – interpolation, TU Budapest
52. Schmitt, L. K.: Developing and applying a soil erosion model in a data-poor context to an island in the rural Philippines, *Environ. Dev. Sustain.*, 11, 19–42, <https://doi.org/10.1007/s10668-007-9096-1>, 2009.
53. Sklenička, P.: *Základy krajinného plánování*. Naděžda Skleničková, Praha, 2003
54. Stehlík O.: *Geografická rajonizace eroze půdy v ČSSR*. Geografický ústav ČSAV, Brno, 1970. 40 s
55. Strategický plán rozvoje města Jevíčko 2009 - 2015, online , dostupno z [:https://www.jevicko.cz/files/files/soubory/02_samosprava/strategicky_plan/str_plan_a.pdf](https://www.jevicko.cz/files/files/soubory/02_samosprava/strategicky_plan/str_plan_a.pdf)
56. Thierfelder C., Mwila M., Rusinamhodzi L., 2013: Conservation agriculture in eastern and southern provinces of Zambia: long-term effects on soil quality and maize productivity. *Soil Tillage Research* 126: 246 – 258
57. Vach M. a kol., *Rostlinná produkce s ohledem na agroekologická hlediska*, Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha, 2008.
58. Venclová, *Využití podsevových plodin při pěstování kukuřice*, 2021

59. Vrzal, J., NOVÁK, D. a kol.: Základy pěstování kukuřice a jednoletých píceňin, IVV MZe ČR Praha, 1995, 32 s., ISBN: 80-7105-097-0
60. Wang J., Huang J., Zhao X., Wu P., Horwath W. R., Li H., Jing Z., Chen X., 2016: Simulated study on effects of ground managements on soil water and available nutrients in jujube orchards. *Land Degradation and Development* 27: 35–42.
61. Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978) Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. The USDA Agricultural Handbook No. 537, Maryland.
62. Xiaoqin Yang a kol., 2020 , Impact of Maize–Mushroom Intercropping on the Soil Bacterial Community Composition in Northeast China
63. Yavaş a Ünay, 2015. Effect of maize/legume intercropping on crop productivity and soil compaction
64. Zachar, D.: Erózia pôdy. SAV Bratislava, 1970.
65. Zhang Z., Peng X. (2021): Bio-tillage: A new perspective for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research*
66. Zimolka, J. a kol., 2008: Kukuřice: hlavní a alternativní užitkové směry. 1. vyd. Praha: Profi Press, 200 s. ISBN 978-80-86726-31-1.