

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí



Agrotechnická protierozní opatření a jejich využití v praxi

Bakalářská práce

Vedoucí práce : Ing. Jan Vopravil, Ph.D.

Autor : Jiří Brož

2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jiří Brož

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Agrotechnická protierozní opatření a jejich využití v praxi

Název anglicky

Agricultural soil protecting managements and their utilization in practice

Cíle práce

Cílem práce je zpracovat podrobnou literární rešerši k problematice vodní eroze a ochrany proti ní, s využitím agrotechnických opatření. Součástí práce bude i založení polního pokusu.

Metodika

Student vypravuje podrobnou literární rešerši s využitím domácích a i zahraničních pramenů. Specializovat se bude na nové technologie, které jsou využívány primárně na erozně nebezpečné plodiny. Dále student se na modelové lokalitě zapojí do polních pokusů a jejich hodnocení.

Doporučený rozsah práce

45 stran

Klíčová slova

vodní eroze, půdní organická hmota, sediment, zpracování půdy

Doporučené zdroje informací

- JANEČEK, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Základy erodologie*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2008. ISBN 978-80-213-1842-7.
- JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí : metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2007. ISBN 978-80-254-0973-2.
- JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, 2002. ISBN 80-85866-86-2.
- JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, 2005. ISBN 80-86642-38-0.
- VOPRAVIL, J. *Půda a její hodnocení v ČR. Díl II./ Jan Vopravil a kol.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2011. ISBN 978-80-87361-08-5.
- VOPRAVIL, J. *Půda a její hodnocení v ČR. Díl. I.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2010. ISBN 978-80-87361-05-4.
- VOPRAVIL, J. – VOPRAVIL, J. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Příspěvek ke stanovení erodovatelnosti půdy v podmínkách České republiky [rukopis]*. Disertační práce. Praha: 2006.
-

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jan Vopravil, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Konzultant

Ing. David Kincl

Elektronicky schváleno dne 20. 11. 2019

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 11. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 01. 10. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma „Agrotechnická protierozní opatření a jejich využití v praxi“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Vopravila, Ph.D. a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou 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 ustavení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Potvrzuji, že odevzdáním bakalářské 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 31. 03. 2022

.....
Podpis autora

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Janu Vopravilovi, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost, ochotu a trpělivost. Dále děkuji konzultantovi Ing. Davidu Kinclovi za cenné rady, podněty a vstřícný přístup. Poděkovat chci také celé své rodině, která mě během mého studia velmi podporovala.

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o problematice degradačních procesů půdy, které jsou způsobeny především vlivem vodní eroze. Společně s neuváženou lidskou činností na takto ohrožené zemědělské půdě dochází ke ztrátě organické hmoty, půdnímu utužení, okyselování a znečištění. Cílem práce bylo zpracovat podrobnou literární rešerši k problematice vodní eroze a možné ochrany proti ní, s využitím agrotechnických opatření.

Součástí práce je i praktická část, v rámci které byly na pilotním území za pomoci polního simulátoru deště Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy ověřovány jednotlivé agrotechnické technologie zpracování půdy, jenž byly následně porovnávány z hlediska půdní ochrany a výnosnosti s konvenčním způsobem hospodaření. Výsledky těchto důmyslných technologií zpracování zemědělské půdy mohou vést k motivaci zemědělců k jejich aktivnímu využívání a šetrnějšímu nakládání s půdou samotnou, jejíž zachování v nejlepší možné kvalitě je pro lidstvo existenčně důležité.

Klíčová slova: vodní eroze, půdní organická hmota, sediment, zpracování půdy

Abstract

This bachelor thesis deals with the problem of soil degradation processes caused mainly by water erosion. Together with unconsidered human activity on such threatened agricultural land, there is organic matter loss, soil compaction, acidification and pollution occur. The aim of the work was to prepare a detailed literature search on the problem of water erosion and possible protection against it, by using agrotechnical measures.

The thesis also includes a practical part, in which individual agrotechnical technologies of soil cultivation were verified on a pilot area with the help of a field rain simulator of the Research Institute of Land Reclamation and Soil Protection. These technologies were compared in terms of soil protection and profitability with conventional farming. The results of these sophisticated technologies of agricultural soil processing can lead to motivation of farmers to use them actively and to treat more gently the soil itself, whose preservation in the best possible quality is existentially important for mankind.

Keywords: water erosion, soil organic matter, sediment, soil processing

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ČR – Česká republika

BPEJ – Bonitovaná půdně ekologická jednotka

ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

DPB – Díl půdního bloku

PB – Půdní blok

USLE – Universal Soil Loss Equation

VÚMOP – Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v. v. i.

Obsah

1	ÚVOD	11
2	CÍLE PRÁCE	12
3	PŮDA	13
3.1	OBECNÉ DEFINICE PŮDY.....	13
3.2	FUNKCE A OCHRANA PŮDY.....	15
4	EROZE	17
4.1	DRUHY EROZÍ.....	18
5	VODNÍ EROZE	20
5.1	VZNIK VODNÍ EROZE.....	20
5.2	FORMY VODNÍ EROZE.....	20
5.2.1	<i>Povrchová eroze</i>	21
5.2.2	<i>Podpovrchová eroze</i>	24
5.3	PŘÍČINY VODNÍ EROZE.....	25
5.3.1	<i>Klimatické a hydrologické poměry</i>	25
5.3.2	<i>Morfologické faktory</i>	26
5.3.3	<i>Geologické a půdní faktory</i>	26
5.3.4	<i>Vegetační poměry</i>	27
5.3.5	<i>Faktor způsobu využívání a obhospodařování půdy</i>	27
5.4	DŮSLEDKY VODNÍ EROZE.....	28
5.4.1	<i>Ztráta půdy</i>	29
5.4.2	<i>Transport a ukládání půdních částic</i>	29
5.4.3	<i>Znečišťování vodních toků a nádrží</i>	29
5.4.4	<i>Transport chemických látek</i>	31
6	URČENÍ OHROŽENOSTI POZEMKŮ VODNÍ EROZÍ	32
6.1	FAKTOR R.....	32
6.2	FAKTOR K.....	33
6.3	FAKTOR L.....	33
6.4	FAKTOR S.....	33

6.5	FAKTOR C.....	34
6.6	FAKTOR P.....	34
7	PROTIEROZNÍ OPATŘENÍ.....	35
7.1	ORGANIZAČNÍ OPATŘENÍ.....	35
7.2	TECHNICKÁ OPATŘENÍ.....	38
7.3	AGROTECHNICKÁ OPATŘENÍ.....	42
7.3.1	<i>Protierozní technologie pěstování kukuřice a slunečnice.....</i>	<i>46</i>
7.3.2	<i>Technologie setí kukuřice do strniště s rostlinnými zbytky.....</i>	<i>46</i>
7.3.3	<i>Technologie setí kukuřice do obilní slámy.....</i>	<i>46</i>
7.3.4	<i>Technologie pěstování kukuřice ve vymrznuté mezipločině.....</i>	<i>46</i>
8	METODIKA PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	49
8.1	CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	49
9	VÝSLEDKY.....	50
10	DISKUZE.....	56
11	ZÁVĚR.....	57
12	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A DALŠÍCH ZDROJŮ.....	59

1. Úvod

Půda a její ochrana se stala v současnosti celosvětovým alarmujícím problémem, neboť kvalita půdy je neustále ohrožována různými formami znehodnocování a to jak přírodními procesy, tak i neuváženou lidskou činností.

V poslední době vyvstává i nebezpečí v podobě rychle se měnících klimatických podmínek na Zemi, které do značné míry není možné člověkem jednoduše ovlivnit.

Naskytá se však možnost, jak lze negativní působení přírodních faktorů, jako jsou různé druhy erozí minimalizovat využitím nových agrotechnických metod a moderních technických prostředků, které umožňují půdu co nejšetrněji obdělávat, aby nedocházelo k její degradaci.

Je také nezbytně nutné, aby se lidstvo pro ochranu půdy a její zachování i pro budoucnost snažilo využívat co nejvíce nové vědecké a efektivní postupy při jejím obhospodařování, vzhledem k její nenahraditelné a těžko obnovitelné funkci pro obživu člověka, vývoj společnosti, rozvoj civilizace a zachování současné fauny a flóry, jako nedělitelné součásti udržitelného způsobu života na planetě.

Aby všechna tato opatření vedoucí ke zlepšení přístupu k půdě mohla být realizována, stává se nezastupitelným fenoménem v tomto procesu člověk a jeho duševní i fyzická činnost rozvíjející se v průběhu historie od prvních zemědělců až po současnost.

2. Cíl práce

Cílem práce je vypracování podrobné literární rešerše k problematice vodní eroze a ochrany proti ní, s využitím agrotechnických opatření. Současně je kladen důraz na významnost půdy pro člověka, kterou je nutné chránit účinnými opatřeními, technologiemi zpracování a širokou škálou revitalizačních postupů, které podporují půdní obnovu a minimalizují riziko vzniku degračních procesů.

V praktické části práce je cílem ověřování jednotlivých agrotechnických technologií zpracování zemědělské půdy provedených na několika modelových lokalitách v rámci České republiky a jejich vyhodnocení z hlediska porovnání s konvenčním způsobem hospodaření.

3. Půda

Půdou (řecky pedon – půda) a jejími vlastnostmi, charakteristikou a způsoby využívání se zabývá vědní obor pedologie, jejíž počátky jsou datovány do první poloviny 19. století.

Úzká vazba člověka s půdou, důležitá pro jeho biologickou existenci, je neodmyslitelně spjata s jeho prvními kroky po zemském povrchu. Z počátku se jednalo pouze o využívání darů přírody vzešlých z půdy, aniž by si člověk uvědomoval její základní funkci.

V průběhu času, vlivem rostoucí populace a nároků na obživu, člověk zjistil, že může půdu využít její kultivací. Došlo tak v mladší době kamenné – neolitu k mimořádně významné změně způsobu života a člověk se v tradičních oblastech starého Světa mění z pasivního sběrače plodin v aktivního zemědělce (Vopravil a kol., 2010).

3.1 Obecné definice půdy

Půdu lze definovat z různých hledisek ať už se jedná o definice geologické, pedologické, archeologické, ekonomické, nebo etické v souvislosti s tím, jakým způsobem se autor tímto tématem zabývá.

- Půda je jedním z nejcennějších přírodních bohatství každého státu a neobnovitelným přírodním zdrojem. Představuje významnou složku životního prostředí s širokým rozsahem funkcí a je základním výrobním prostředkem v zemědělství a lesnictví. Je však ohrožována celou řadou procesů, které vedou k omezení, nebo až ztrátě schopnosti půdy plnit své základní produkční a mimoprodukční funkce (Novotný a kol., 2017).
- Půda je přirozený, třídímenzionální útvar s definovatelnými hranicemi, které běžně, ale ne vždy tvoří horizonty složené z minerálních a organických materiálů, obsahující organismy schopné podporovat růst vegetace, jak se uvádí v knize Handbook of Soil Science (2000).
- Půda není jen základním výrobním prostředkem v zemědělství. Je jednou z nejvýznamnějších složek životního prostředí s mnoha důležitými funkcemi. V jejím prostředí dochází k akumulaci a filtraci vody, je důležitým

stanovištěm rostlin a živočichů, zdrojem nezbytných materiálů pro stavební průmysl a archivem dějin všech lokalit. Není však stabilní a neměnná pro prostředí, ale jedná se o stále se vyvíjející systém, který je nepřehlédnutelně ovlivněn činností člověka (Brtnický a kol., 2012).

- Půda je nenahraditelný přírodní zdroj, základní složka životního prostředí a nezastupitelná podmínka rostlinné a zemědělské výroby. V půdě probíhá koloběh látek, je životním prostředím pro rostliny i živočichy, zadržuje vodní srážky, reguluje jejich odtok a je zásobárnou vodních zdrojů (Lhotský, 2000).
- Půda je definována jako povrchová vrstva souše, vyvíjející se v důsledku působení půdotvorných faktorů. Je to vertikálně a horizontálně strukturovaný přírodní útvar. Je součástí životního prostředí a hospodářsky využitelným přírodním zdrojem (Pavlů, 2018).

Definice půdy z etického hlediska (z řeckého ethos – mrav) se zabývá teoretickým zkoumáním hodnot a principů, které usměřují lidské chování a jednání v situacích, kdy existuje možnost volby s jejím nakládáním a užíváním. Z tohoto hlediska je možno uvést dvě hlavní dimenze a to **kvantitativně ekonomickou a kvalitativně ekologickou.**

Ekonomická dimenze má dva kvantitativní aspekty:

a) hledisko konečnosti půdy:

- Půda jako vzácný statek musí splňovat potřeby a nároky člověka i ostatních tvorů biotického společenství země. Všechny nároky, které člověk na půdu přímo, nebo nepřímo (zprostředkovaně) pomocí ekonomického procesu klade, musí být uspokojeny konečným a nenahraditelným statkem – půdou.
- Půda není samozřejmost, ale dar, který člověk nedokáže ani vytvořit, ani regenerovat.
- Každé znehodnocení půdy vede ke ztrátě její produkční funkce a úbytku života a životních šancí.
- Způsob využívání půdy musí i v budoucnosti umožňovat život, proto je nutné definovat pravidla a to, že základním potřebám je nutno přiznat vyšší prioritu, než odvozeným.

b) Hledisko ekonomické

- Každý ekonomický proces by měl zajistit statky a životní postavení lidem.
- Půda patří fundamentálně k existenci člověka, který je tak „ půdní bytostí“ a je na ní vázán.
- Člověk bez půdy nemůže existovat, zatímco půda existuje nezávisle na člověku.
- Příroda je domovem člověka a její ochrana na jednom místě nenahradí devastaci na místě jiném. Z důvodu psychické stability musí člověk nacházet ve svém okolí přírodu.
- Úzké propojení člověka s půdou ukazuje, že volný přístup k půdě patří k lidské existenci.
- Zájmy společnosti jsou nadřazeny zájmům jednotlivce aniž by odmítali soukromé vlastnictví.

Kvalitativně ekologická dimenze:

- Půda zde není jenom náhodně a nelze s ní volně nakládat.
- Půda má hodnotu sama o sobě. Skutečnost, že půda je život je důkazem její svébytnosti.
- Z uvedeného plyne zájem zaměřený na budoucnost a nárok na její neporušenost, proto nelze zacházet s půdou nad hranice její únosnosti (Vopravil a kol., 2010).

3.2. Funkce a ochrana půdy

Půda má celou řadu funkcí, které lze rozdělit na funkce **produkční** a **mimoprodukční**.

Produkční funkce chápe půdu jako udržitelný zdroj s poskytováním výnosu důležitým v zemědělství a lesnictví. S touto funkcí souvisí úzce úrodnost půdy, jako schopnost poskytovat životní podmínky pro rostliny i edafon (Janeček a kol., 2008).

Podstatná je také mimoprodukční funkce půdy, neboť jakékoliv její narušování může mít pro člověka nedozírné důsledky. Mezi tyto funkce patří

schopnost půdy zadržovat, filtrovat a transformovat látky, schopnost zadržovat vodu, což umožňuje život vyšších rostlin a půdních organismů.

Ekologická funkce půdy vymezuje prostor a podmínky pro život půdních organismů a zachování genetické informace.

Půda může být rovněž i zdrojem surovin (hrnčířské, cihlářské, nebo stavební hlíny a využívání slatiny v lázeňství). Dokumentuje také vývoj civilizací na daném území, což lze označit za funkce kulturní. V neposlední řadě je pak půda podkladem staveb a předmětem obchodu, jenž lze označit za funkci technicko – ekonomickou (Pavlů, 2018).

Půdu je třeba neustále chránit jako vyčerpateľný, nenahraditelný a jen velice pomalu se obnovující přírodní zdroj, který je základem udržitelného zemědělského hospodaření. Znehodnocování půd, nebo jejich vyřazování ze zemědělské výroby je vážným problémem jak v České republice, tak ve všech technicky vyspělých státech. Na znehodnocování půdy se podílí technické a přírodní příčiny.

Technické znehodnocování půd je způsobeno těžbou nerostných surovin (uhlí , písek, rašelina), výskytem nadměrného znečištění z průmyslu a výstavbou nových obytných sídel a průmyslových objektů, které často zabírají tu nejúrodnější půdu. Mezi přírodní příčiny patří také periodické záplavy, které ničí úrodu a způsobují podmáčení půd.

Jednou z velmi vážných příčin působících na znehodnocování půdy jsou různé typy erozí (Janeček a kol., 2002).

4. Eroze

Eroze se definuje jako komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením tzv. erozních činitelů (Janeček a kol., 2008).

Výraz eroze půdy (latinsky „erodere“ - rozhlodávat) se v literatuře začal běžně používat ve 30. a zejména ve 40. letech minulého století, i když tento termín byl známý již dříve. Poprvé jej použil W.J. Mc GEE v roce 1911 v publikaci „Soil Erosion“ a na vymezení a zpřesnění jejího obsahu má hlavní zásluhu americký erodolog H.H. Bennet, který je považován za zakladatele tohoto vědního oboru. Ve své publikaci „Soil Conservation“ (1939) rozlišuje **erozi normální**, neboli geologickou, kterou nazývá přirozenou a **erozi zrychlenou** způsobenou špatným hospodařením na zemědělských půdách. Zabýval se výzkumem ochranných opatření, jak snížit lidským působením erozi zrychlenou, na úroveň eroze normální – geologické.

Proces zrychlené eroze půdy se objevuje od doby, kdy člověk začal porušovat její přirozený kryt, který byl na většině území tvořen lesními společenstvy. Způsoby ochrany před tímto procesem jsou lidstvu známy od nepaměti. Avšak teprve nové poznání dalo vznik vědnímu oboru pojednávajícímu o erozi půdy, příčinách jejího vzniku, následcích a způsobech ochrany proti ní – **erodologii**. Její vývoj byl poměrně složitý a přispěli k němu specialisté různého zaměření. Nejširší pojem eroze koncipovali geologové a geomorfologové, kteří hodnotili erozi zejména z hlediska vývoje povrchu země (Morgan, 2005).

Na rychlost eroze má značný vliv klima. Nebezpečí geologické eroze spočívá především v ochuzování půdy o nejurodnější část – ornici, zhoršuje fyzikálně - chemické vlastnosti půd, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, poškozují plodiny a kultury, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztráty osiv, sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin. Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje, zanášejí akumulární prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin (Janeček a kol., 2008).

V některých případech tak může docházet až k celkovému zhoršení úrodnosti půdy, tím ke snižování výnosů a celkovému zhoršení podmínek pro růst rostlin.

Působením eroze může dojít až k nezvratným změnám půdního typu (Sklenička, 2003).

4.1 Druhy erozí

Podle základních erozních činitelů, které vytvářejí a ovlivňují její průběh, lze eroze rozdělit na erozi:

- Vodní (akvatickou nebo fluviální)
- Větrnou (eolickou)
- Sněhovou (nivální)
- Ledovcovou (glaciální)
- Antropogenní
- Zemní

(Janeček a kol., 2005)

Větrná eroze

Jedná se o dynamický přírodní proces, při kterém dochází k rozrušování půdního povrchu mechanickou silou větru, kdy jsou následně odnášeny rozrušené půdní částice, které se akumulují na místě jiném (Janeček a kol., 2008).

Zásadní vliv na efekt větrné eroze má velikost odnášených půdních částic a fyzikální vlastnosti půd ohrožených touto erozí (Vavříček a kol., 2014).

V současné době je problematika větrné eroze, nejen na území České republiky, zastíněna erozí vodní, ale vzhledem k neustále se měnícímu klimatu bude lokalit ohrožených touto erozí v důsledku ubývajících srážek a značnému vysychání půdy s největší pravděpodobností přibývat (Vopravil a kol., 2011).

Sněhová eroze

Zvláštnost této eroze spočívá v tom, že kinetická energie sněhových srážek dopadajících na povrch půdy je oproti kapkám vody působící vodní erozi naprosto zanedbatelná. Většina energie způsobující tuto erozi vzniká při změně skupenství sněhového pokryvu na vodu a jejího následného odtoku (Janeček a kol.,2002).

Ke zvýšení účinku eroze napomáhá i fakt, že v zimních měsících je povrch půdy pokryt vegetací jen minimálně a náchylnost poškození způsobené následným táním a odtokem je tak mnohem větší (Zachar, 1970).

Ledovcová eroze

Posuvem ledovců z horských oblastí do údolí a nížin způsobeným jejich vlastní tíhou dochází k přenosu horninových zvětralin. Aktivita je výrazně ovlivněna měnícím se klimatem, charakteristikou spádovitosti krajiny a v neposlední řadě i tvarem ledovce (Cáblík a Jůva, 1963).

Antropogenní eroze

Vlivem lidské činnosti je půda ve velkém měřítku ať už přímo, nebo nepřímo vystavována erozi. Rozsáhlou výstavbou, těžbou lesa a nejrůznějších druhů nerostných surovin, při které dochází k záboru velkých půdních ploch, napomáhá k urychlení tohoto jevu člověk přímo. Mezi nepřímé zásahy patří devastace přirozené vegetace a její následné nahrazení jiným druhem, který má menší protierozní účinky a používáním nešetrných metod hospodaření, při kterých dochází k poškozování půdy ať už špatně zvoleným způsobem obdělávání, nebo nevhodným způsobem hnojení (Holý, 1994).

Zemní eroze

Popisuje činnost suťových proudů, jenž jsou tvořeny vodou prosyceným suťovým materiálem. Při svém pohybu do údolních oblastí dochází k rozrušování půdy a následnému vzniku hlubokých rýh. Dochází tak k ohrožení níže položených osad, technických staveb a komunikací (Holý, 1978).

Z celosvětového hlediska je zemědělská půda nejvíce ohrožena erozí vodní, která postihuje více jak polovinu veškerého půdního fondu.

5. Vodní eroze

„Vodní eroze je definovaná jako komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody. Samotný proces eroze půdy je procesem přírodním, který nelze zcela zastavit“ (Novotný a kol., 2017).

Přirozená forma této eroze probíhá postupně, přetváří reliéf zemského povrchu od počátku věků a její průběh je v rámci jedné lidské generace možné zpozorovat jen velmi obtížně. Naopak zrychlená forma této eroze, která je ovlivněna lidskou činností, smývá půdní částice v takovém rozsahu, kdy tyto nestíhají být nahrazeny přirozeným půdotvorným procesem a je tak nutné půdní bloky před touto erozí účinně chránit (Liu a kol., 2017).

Jednou z hlavních příčin, proč k tomuto eroznímu jevu dochází v posledních letech čím dál častěji, je neustálé zvětšování půdních celků orné půdy, které jsou následně využívány novější, prostorově rozměrnější zemědělskou technikou pro dosažení maximalizace zisků bez ohledu na původní zachování přírodní členitosti krajiny, která následky vodní eroze výrazně snižovala (Kozlík a kol., 1961).

5.1 Vznik vodní eroze

Tato eroze vzniká tehdy, kdy voda dopadající na zemský povrch způsobuje jeho značné narušení. Půda bývá do jisté míry již narušena samotnou energií dopadajících dešťových kapek, které způsobují vznik drobných půdních jamek. Čím vytrvalejší, intenzivnější je srážková činnost, tím větší hrozí nebezpečí prudkých povrchových i podpovrchových odtoků, kdy půda již není schopna nadměrné množství vody přirozeně absorbovat. Podle toho, k jakému poškození půdního povrchu vlivem této činnosti došlo, dělíme vodní erozi do několika forem (Boardman a Poesen, 2006).

5.2 Formy vodní eroze

V závislosti na místech výskytu vodních erozí je možné tyto rozdělit na **povrchové**, nebo **podpovrchové** (Zachar, 1970).

5.2.1 Povrchová eroze

Povrchovou vodní erozi lze rozdělit na:

- Plošnou
- Výmolnou
- Proudovou

(Janeček a kol, 2002)

Plošná eroze

Charakteristickým znakem této eroze je její schopnost rozrušovat a následně smývat půdní hmotu rovnoměrně z celé plochy ohroženého území, a to ve dvou fázích (Janeček a kol., 2008). První fázi nazýváme **selektivní erozí**, při které za působení povrchového odtoku dochází k odplavování nejjemnějších půdních částic a chemických látek na ně vázaných. Důsledkem je pak zásadní změna textury půdy a zastoupení obsahu živin. Nejúrodnější půdní částice jsou velmi často akumulovány v nejnižší části svahu a hrozí kontaminace přilehlých vodních toků. Selektivní eroze se vyznačuje pozvolným průběhem, který má často za následek viditelně rozdílný vývoj vegetace projevující se její různou barvou a špatnou kvalitou v určitých částech sledované lokality. Druhou fázi nazýváme **erozí vrstevnou**, ke které dochází při výrazně vyšší kinetické energii povrchově stékající vody a dochází tak téměř vždy ke ztrátě celé orniční vrstvy (Holý, 1994).



Obrázek 1 – Plošná eroze na pozemku v Dívčích Kopech; Foto: VÚMOP v. v. i.;

Zdroj: eAgri

Výmolná eroze

Je zapříčiněna soustředěným plošným odtokem vody, který v průběhu času vytváří v půdě z počátku mělké zářezy, které se následně přeměňují v hluboké brázdy, výmoly a strže (Cáblík, Jůva, 1963). Dle stupně stádia je možné výmolnou erozi rozdělit na erozi **rýžkovou, brázdovou, rýhovou, výmolnou a stržovou** (Janeček a kol., 2008).

Rýžková a brázdová eroze patří mezi první stupeň stadia, při kterém na půdním povrchu dochází ke vzniku drobných a zpravidla úzkých zářezů, které společně na zasaženém území vytvářejí hustou síť.



Obrázek 2 – Rýžková eroze v kukuřici na pozemku v Čejkovicích; Foto: VÚMOP v. v. i.; Zdroj: eAgri

V dalším stádiu, jenž je označováno jako **eroze rýhová**, dochází k prohlubování, rozšiřování a spojování jednotlivých rýh jejichž hloubka se pohybuje v rozmezí 10 – 30cm (Zachar 1970).

Pokud dojde vlivem soustředěného povrchového odtoku k prohloubení rýh na výmoly, které jsou širší a hlubší než 30 cm, pak rýhová eroze přechází v **erozi výmolnou**.



Obrázek 3 – Výmolná eroze na pozemku v Čejkovicích; Foto: VÚMOP v. v. i.;
Zdroj: eAgri

Nejhorším a zároveň nejvyšším stupněm stádia označujeme **erozi stržovou**. Šířka a hloubka strží bývá větší než 100 cm a jejich délka může dosahovat více než 1 kilometr. Strže se stávají spolehlivým ukazatelem dlouhodobě působící eroze, a pokud nedochází včas k opatřením vedoucím k jejich sanaci, jsou strže schopné ničit rozsáhlá území (Vavříček a kol., 2014).



Obrázek 4 – Stržová eroze v obci Zátor; Foto: VÚMOP v. v. i.;
Zdroj: eAgri

Proudová eroze

Tento druh eroze je možné pozorovat převážně na vodních tocích, kde působením vodního proudu dochází k rozrušování dna, prohlubování vodního koryta a vymílání říčních břehů, kde následně hrozí i nebezpečí sesuvu svahů (Holý, 1994).

Vlivem tření rychle tekoucí vody a působením materiálu, který je vodním tokem přenášen, dochází k porušování vodoteče. Postupné usazování těžšího erodovaného materiálu má za následek zanášení a zhoršení průtočné funkce vodního koryta. Výskyt proudové eroze je typický pro vodní toky s velkým průtokem a podélným spádem (Cáblík a Jůva, 1963).

V závislosti na místě výskytu je možné proudovou erozi dále dělit na erozi jezerní, říční a přehradovou. Na území ČR je nejčastější výskyt eroze říční, a to především v lokalitách horských bystrin, kde v tocích dochází ke značnému odnosu splavenin, které se následně ukládají v níže položených oblastech (Zachar, 1970).

5.2.2 Podpvrchová eroze

K erozi dochází nejen na povrchu, ale i uvnitř půdy. Děje se tak při podpvrchovém odtoku půdou vsáknuté vody, která následně proudí spojenými póry a vyplavuje jemné, různě rozptýlené části půdy gravitační vodou, což výrazně přispívá k její skeletizaci (Janeček a kol., 2002).

Dle Zachara (1970) je možné podpvrchovou erozi dělit na:

- Vnitropůdní
- Tunelovou

Vnitropůdní eroze

Při této erozi dochází k vyplavování jemných, různě rozptýlených složek půdy, které mají za následek její hrubozrnnost a podpvrchovým odtokem se nejjemnější částice půdy dostávají do spodních vod a přilehlých vodotečí umístěných v nižších částech svahu (Zachar, 1970).

Tunelová eroze

Princip této formy eroze spočívá ve vymílání podpovrchových chodeb vodou nad nepropustným podložím. Při stálém zvětšování, takto vytvářených podzemních tunelů, dochází ke ztenčování jejich stropních částí, které se následně proboří a v konečném stádiu tak utvářejí i erozní rýhy na samotném povrchu půdy (Janeček a kol., 2008).

5.3 Příčiny vodní eroze

Intenzitu zrychlené vodní eroze ovlivňuje velká řada faktorů, mezi které řadíme nejen přírodní jevy a podmínky, ale i faktory vzniklé působením lidské činnosti, které mají na vzniku a průběhu eroze významný vliv. V rámci zvýšení efektivity práce docházelo v minulém století na území České republiky k budování velkých půdních bloků, které se velikostí své plochy řadí mezi největší v Evropě. Takové počínání se neobešlo bez devastace přirozeně se vyskytujících krajinných prvků (polních cest, mezí, zatravněných údolnic a nejrůznějších forem zeleně), které rozsah eroze výrazně zmenšovali.

Kombinaci všech těchto většinou společně působících faktorů, jenž mají přímý vliv na vznik, intenzitu a samotný průběh eroze můžeme dle Janečka (2005) dále rozdělit na:

- Klimatické a hydrologické
- Morfologické
- Geologické a půdní
- Vegetační
- Způsob využívání a obhospodařování půdy

5.3.1 Klimatické a hydrologické faktory

Tyto druhy faktorů nejvíce ovlivňují množství a vydatnost srážek, které způsobují povrchový odtok, jehož velikost úzce souvisí s nadmořskou výškou, zeměpisnou polohou, teplotou, výparem a intenzitou slunečního záření, kterému je půda vystavena (Holý, 1978). Zásadním činitelem způsobujícím vodní erozi jsou v tomto případě dešťové a sněhové srážky, jejichž intenzita a doba výskytu má přímý vliv na důsledky způsobené touto erozí.

Z hlediska nebezpečnosti je půda nejvíce ohrožována typem srážek, který je charakteristický svou vysokou intenzitou, prudkostí a zpravidla krátkodobým působením. K vyšší náchylnosti půdy k erozi napomáhají i nižší teploty vyskytující se převážně ve vyšších nadmořských výškách, které snižují její infiltrační schopnosti. Dlouhodobé sluneční záření v kombinaci se suchem způsobuje snížení životaschopnosti vegetačního pokryvu, který před erozí pozemek chrání. (Cáblík a Jůva, 1963).

5.3.2 Morfologické faktory

Délka svahu, jeho tvar a sklonitost, jsou považovány za nejvýznamnější činitele, které vodní erozi ovlivňují. Všechny tyto parametry výrazně působí na velikost povrchového odtoku vody. Dlouhé svahy jsou erozně zasaženy mnohem více, než svahy krátké, a často na jejich povrchu dochází i k procesu kumulujícího se povrchového odtoku (Holý, 1978).

Tvar svahu má na intenzitě a průběhu eroze výrazný podíl. Zatímco u svahů, které mají tvar vypouklého charakteru, je dosahováno největšího erozního účinku obvykle na spodních částech svahu, u vydutého tvaru svahů dochází k největší erozní intenzitě na částech horních (Owens a Collins, 2006).

Sklon svahu je nejdůležitějším činitelem vodní eroze. Na svažitéjším pozemku dochází k nárůstu půdního napětí, které má za následek zvýšení rychlosti povrchového odtoku. Sklonitost nelze nijak výrazně ovlivnit, ale je možné minimalizovat erozní dopady pokrytím půdy, vhodným typem vegetace a využitím protierozních opatření (Dumbrovský, 2009).

5.3.3 Geologické a půdní faktory

Samotná půdní charakteristika je z hlediska intenzity erozních procesů velmi důležitá. Do těchto půdních vlastností zahrnujeme faktory jako jsou: půdní druh a typ, pórovitost, vlhkost, struktura, obsah organické hmoty, schopnost infiltrace a zvrstvení. Součtem všech těchto vlastností lze předběžně částečně vyhodnotit schopnost půdy odolávat vnějším erozním jevům (Janeček a kol., 2008).

5.3.4 Vegetační poměry

Významným ochranným faktorem, snižujícím intenzitu erozních procesů, je půdní pokryv ve formě rostlinné vegetace. Ochrana půdy vegetačním pokryvem spočívá především ve snížení rizika narušení půdního povrchu přímo dopadajícími srážkovými kapkami a vyšší infiltrační schopností půdy, čímž následně dochází i ke snížení povrchového odtoku (Holý, 1978). Pokud je v rámci hospodaření s půdou zvolena účinná kombinace pěstování plodin a využívání rostlinného pokryvu s vysokým protierozním účinkem, dochází ke zpevňování půdy kořenovým systémem těchto rostlin, obohacování půdy organickými látkami, významným zlepšením biologických a chemických půdních vlastností, což následně i zásadně snižuje náchylnost půdy k ohrožení vodní erozí (Šarapatka a kol., 1978).

Nejúčinnější protierozní efekt mají lesní porosty a to nejen díky svým rozsáhlým kořenovým systémům. Další nejlépe půdu chrání skupinou se stávají trvalé travní porosty, které mají větší účinnost než travní porosty dočasné. Mezi vegetací, která má protierozní účinek nejmenší, pak řadíme okopaniny. Pokud dojde k přirozenému zániku, nebo umělému odstranění vegetace, která půdu před erozními účinky chrání, dochází k nárůstu negativních dopadů, které na obnažené půdě vodní eroze způsobí (Cáblík a Jůva, 1963).

5.3.5 Faktor způsobu využívání a obhospodařování půdy

Za všemi důsledky spojenými s obhospodařováním půdy stojí člověk a jeho rozhodnutí o způsobu, jak bude s touto komoditou nakládáno. Devastace původního rázu krajiny (kácení lesních porostů, ničení remízků, odstraňování přírodně se vyskytujících mokřadů, neúměrné zvětšování půdních celků orné půdy, nadměrná výstavba různých staveb a komunikací) má neodvratitelně za následek nejen ztrátu původní a důležité fauny a flóry, ale i mnohonásobně zvýšenou ohroženost rizikem vzniku nejrůznějších erozních jevů (Holý, 1978).

Na území ČR je problematika tohoto faktoru významně ovlivněna samotným charakterem zemědělství. Změnu ve složení pěstovaných plodin přinesl výrazný ústup chovu hospodářských zvířat, který následně způsobil i úbytek využívání klasických osevních postupů a nedostatek organického hnojení. Na bilanci organické hmoty v půdě a zhoršujícím se stavu fyzikálních a strukturálních vlastností půdy, mají velmi negativní vliv klesající plochy luskovin a víceletých píceň, dříve

v zemědělství hojně zastoupených. V současnosti je pro zachování půdy a její kvality nezbytně nutné využívat nové, moderní agrotechnické postupy a techniku, jimiž je možné půdu obdělávat mnohem šetrněji a efektivněji, než tomu bylo v minulosti. (Menšík, Kincl a kol., 2018).

5.4 Důsledky vodní eroze

Snížení produkční funkce půd způsobené vlivem erozních a dalších negativně ovlivňujících faktorů, patří k nejhorším důsledkům vodní eroze. Významnost této problematiky pro lidstvo a životní prostředí, je v současnosti větší, než tomu bylo kdykoli v minulosti. Degradace půdy patří k nejzávažnějším problémům, které velmi citelně ohrožují produkční schopnosti jednotlivých ekosystémů a vzhledem ke svému rostoucímu charakteru zásadně přispívá k sociální a politické nestabilitě. Pokles kvality a produkční schopnosti půd je v drtivé většině případů způsoben neohleduplnou a nesprávnou lidskou činností (Janeček a kol., 2002).

Dle výzkumu Benneta (1939), který byl uskutečněn v hlavní produkční oblasti USA Corn Belt bylo dokázáno, že na půdních blocích, kde vlivem eroze došlo k odstranění svrchní humusové půdní vrstvy, následně výnosy klesly až o 77%. Velikost tohoto efektu byla závislá na druhové skladbě půd a plodin, ale na každém typu zkoumaného půdního celku došlo ke značnému snížení výnosů.

Mezi další, velmi závažné důsledky vodní eroze, patří zhoršení fyzikálně – chemických vlastností půd, zvýšení šterkovitosti, zmenšení mocnosti půdního profilu, snížení půdní propustnosti, poškození plodin, ztráta osiv, znečišťování přilehlých vodních toků a tvorba usazenin (Novotný a kol., 2017).

Hlavní důsledky vodní eroze je dále možné rozdělit do 4 skupin

- Ztráta půdy
- Transport a ukládání půdních částic
- Znečišťování vodních toků a nádrží
- Transport chemických látek

5.4.1 Ztráta půdy

Samotný proces vodní eroze způsobuje ochuzování půdy o nejjemnější půdní částice a mění tak kvalitativní i kvantitativní vlastnosti, které jsou půdě přirozené. Tento faktor je možné označit jako nevratný, a jen v několika málo výjimečných případech je možné část erozí přemístěné půdy, pomocí technických protierozních opatření zachytit. Ztrátou většího množství této nejúrodnější části zemědělské půdy dochází i k výraznému snížení živin a organických prvků, což má přímý vliv na následné dramatické snížení výnosnosti (Truman a kol., 2002).

5.4.2 Transport a ukládání půdních částic

V okamžiku, kdy se půda nachází na hranici svých infiltračních schopností srážkové vody, dochází k povrchovému odtoku, který s sebou unáší půdní částice společně s organickým materiálem a v konečném důsledku dochází k jejich ukládání ve spodních částech svahu. V případě, že se u vodou erodovaného území nachází přilehlý vodní tok, je tento významně ohrožen, neboť v případě vniknutí erozí unášeného materiálu dojde k jeho znečištění (Menšík, Kincl a kol., 2018).

Následky, které plynou z nežádoucího obohacení vodoteče o takto erodovaný materiál, spočívají nejen v samotném ohrožení kvality vody a života fauny i flory v ní, ale následné snahy o nápravu a čištění vodního toku bývají zpravidla finančně velice nákladné (Holý, 1978).

Z tohoto hlediska je proto důležité, vhodně využívat nejrůznější krajinné prvky (průlehy, meze a travní pásy) a další organizační, agrotechnická a technická protierozní opatření (Novotný a kol., 2017).

5.4.3 Znečišťování vodních toků a nádrží

Postupné zanášení vodního koryta způsobeného vlivem erodované půdy v důsledku zvyšuje niveletu jeho dna, čímž dochází k častému vybřežování vodního toku a tím k nárůstu množství podzemní vody v jeho okolí. Čištění se tak stává velmi nákladným je při něm devastováno i velké množství rostlin a živočichů, kteří využívají dno vodního koryta jako svůj přirozený biotop.

Na území ČR se předpokládá, že většina všech vodních toků je řádně upravena a technicky stabilizována. Proto se příliš nepřihlíží k jeho vymílání, ale

často pouze na důsledek splavenin ze zemědělských pozemků (Novotný a kol., 2017).

K zanášení vodních nádrží splaveninami dochází vlivem snížení unášecí síly a rychlosti toku nejčastěji na samém vtoku, kde jsou v závislosti na hrubosti zrna oddělovány od nejhrubších, které se ukládají na vstupní části nádrže jako první, až po nejjemnější, jež sedimentují dále ve vnitřních částech samotné nádrže (Pasák a kol., 1984).

Nádrže, které plní zásobní účel, jsou tímto erodovaným materiálem značně ohroženy, neboť zvýšený výskyt sedimentu přímo ohrožuje zabezpečení dodávek vody a snižuje průtočné množství vodního toku za nádrží. Dle Novotného (2017) dosahovalo množství měřeného sedimentu při odbahňování některých vodních nádrží na území ČR až jedné čtvrtiny z celého zásobního objemu.

Je proto nutné tomuto znečišťování včas předcházet a to především protierozní ochranou půdních celků.



Obrázek 5 – Zanesený rybník v obci Jemniště; Foto: VÚMOP v. v. i.; Zdroj: eAgri

5.4.4 Transport chemických látek

Při půdním odnosu nedochází pouze ke splavení samotných jemných a hrubších částic, ale v erodovaném materiálu se nachází i značné množství toxických látek a organických živin, které při vniknutí do okolních vodotečí ohrožují biologickou hodnotu vody a výrazně mění poměr jednotlivých organických prvků, jenž se ve vodních tocích přirozeně vyskytují. Významné množství těchto látek je do půdy zaneseno při aplikované ochraně rostlin a hnojení (Holý, 1978).

Obsah pesticidů, hnojiv a nejrůznějších forem těžkých kovů, které jsou do půdy uměle vpravovány, při jejich následném odnosu představují vysoké riziko ohrožení a v případě jejich ukládání ve vodních nádržích mohou tyto prvky způsobit eutrofizaci, při které následně může dojít až ke kyslíkové havárii. V důsledku všech těchto negativních procesů dochází až k samotnému ohrožení podzemních vodních zdrojů, které jsou pro člověka a jeho život velmi důležité a svou funkcí nenahraditelné (Novotný a kol., 2017).

6. Určení ohroženosti pozemků vodní erozí

Erodibilita půdních celků se stala problematikou, která pedology, erodology a další výzkumníky, kteří se těmito půdními obory zabývají, zaměstnává již celá desetiletí. O stavu, kdy je půda ohrožena vodní erozí je možné hovořit tehdy, pokud člověkem vybrané způsoby hospodaření a jednotlivá přijatá protierozní opatření nejsou schopna splnit požadavky na půdní ochranu, které se pro daný územní celek nebo jeho část vypočítávají (Liu a kol., 2017).

Nedostatek vstupních údajů o půdních charakteristikách patří v rámci zpracovávání erozních modelů půdy k jedné z největších překážek. Jedním z nejdůležitějších parametrů, pomocí kterého se stanovují jednotlivé erozní modely, považujeme erodovatelnost půdy, která se v odborné literatuře označuje jako faktor K. Tímto faktorem jsou popisovány vlastnosti půdy a její schopnosti odolávat erozi. (Panagos a kol., 2014).

Nejdokonalejší vyjádření kvantitativních účinků hlavních faktorů, které jsou vodní erozí v důsledku přívalových dešťů způsobeny, popisuje tzv. **univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy erozí** z pozemků, označována dle anglického překladu (Universal Soil Loss Equation) jako rovnice **USLE** (Wischmeier a Smith, 1978).

Podle Janečka (2008) má rovnice USLE tvar:

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

Na základě jednotlivých činitelů v rovnici je propočítávána dlouhodobá ztráta půdy jako G ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$), přičemž každý jeden faktor v ní zastoupený plní svou nenahraditelnou funkci ve finálním vyhodnocení půdní ohroženosti.

6.1 Faktor R

Tento činitel je definován jako faktor erozní účinnosti deště, který je vyjádřený v závislosti na četnosti výskytu srážek, kde je dále posuzována i intenzita, kinetická energie a úhrn dopadajících kapek vody. Při použití tohoto faktoru je nezbytně nutné přihlídnout nejen k vlivu výjimečných přívalových dešťů, ale i srážkovým událostem, které dosahují střední intenzity. Roční hodnota faktoru R je přímo závislá na vedení dlouhodobých záznamů o srážkách a je charakterizována jako součet erozní účinnosti jednotlivých přívalových dešťů. Počítá pouze se srážkovými úhrny velikostně přesahujícími 12,5 mm, kdy v časovém intervalu 15

minut dochází ke spadu více než 6,25 mm vody. Při samotných měřeních musí být od sebe srážkové události odděleny dobou vždy delší, než 6 hodin. Průměrná hodnota tohoto faktoru pro ČR určená na základě dlouhodobých měření pod záštitou Českého hydrometeorologického ústavu, byla stanovena jako $20 \text{ MJ}\cdot\text{ha}\cdot\text{cm}/\text{hod}\cdot\text{rok}^{-1}$ (Janeček a kol., 2012).

6.2 Faktor K

Povrchový odtok vody společně s rozrušujícím účinkem dopadajících kapek deště významně ovlivňují činitele, jenž je nazýván jako faktor erodovatelnosti půdy a je označen písmenem K. Nejvýznamnějšími půdními vlastnostmi jako jsou zrnitost, struktura, barva, obsah vody, propustnost a odolnost proti rozrušení erozí dochází k následnému ovlivnění hodnoty tohoto faktoru. V rámci jeho využití v rovnici USLE je definován jako odnos půdy v $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ na jednotku dešťového faktoru R na pozemku, který je standardizován délkou 22,13 m, se sklonem svažitosti 9%, který je ve směru sklonu kultivací udržován jako kypřený černý úhor (Janeček a kol., 2008).

6.3 Faktor L

Představuje délku nepřerušovaného svahu. Obecně lze konstatovat, že čím je délka svahu větší, tím intenzivnější jsou důsledky způsobené vodní erozí. Definice délky svahu popisuje tento faktor jako horizontální vzdálenost od místa, kde vzniká samotný povrchový odtok, až k bodu, kde vlivem snížení svažitosti území následně dochází k sedimentaci erodovaného materiálu a soustředění plošného odtoku v jednotlivých drážkách (Janeček a kol., 2002).

6.4 Faktor S

Faktor charakterizující sklon svahu zastává v rámci erozních dopadů významnějšího vlivu, než jeho samotná délka. S narůstajícím sklonem svahu, jehož hodnota je větší, než 9%, dochází při povrchovém odtoku k dramatickému zvýšení ztráty půdy, která je následně odplavována do nejnižších částí svahu, případně přímo ohrožuje přilehlé vodní toky (Novotný a kol., 2017; Janeček a kol., 2008).

6.5 Faktor C

Popisuje ochranný vliv vegetačního pokryvu na daném půdním celku. Vhodnou formou využití nejrůznějších ochranných porostů je dosaženo velmi významné protierozní ochrany, která do značné míry eliminuje erozní účinek kinetické energie dopadajících kapek a zároveň zvyšuje infiltrační schopnost půdy, v důsledku čehož je výrazně sníženo i samotné riziko devastujících účinků povrchového odtoku. Jeteloviny a travní porosty jsou považovány za nejvhodnější typy ochranných rostlin, jejichž protierozní účinek v obdobích výskytu nejvyšších srážkových úhrnů půdu významně chrání (Janeček a kol., 2012).

6.6 Faktor P

Hodnotí účinnost protierozních opatření, které si člověk pro ochranu půdy zvolil. Pomocí tohoto faktoru je vyjádřen poměr půdního odnosu způsobeného povrchovým odtokem na lokalitě, kde je využito různých druhů protierozních opatření, který se následně porovnává s pozemkem, na kterém naopak není využito žádných opatření k zabránění důsledků vodní eroze. Výchozí hodnota faktoru je $P=1$, což vyjadřuje stav nechráněného pozemku. Využitím nejrůznějších organizačních, agrotechnických a technických protierozních opatření se tato hodnota snižuje (Janeček a kol., 2012; Podhrázká, Dufková, 2005).

7. Protierozní opatření

Půdu je v současné době nutné chránit vhodně zvoleným komplexním souborem jednotlivých organizačních, technických a agrotechnických protierozních opatření, která zabraňují devastujícím účinkům vodní eroze, způsobených vlivem přívalových a dlouhodobějších srážek. V naprosté většině případů, kdy dochází k posuzování volby typu protierozních opatření, je využívána jejich kombinace, aby se vybrané postupy účelně doplňovaly a zvyšovaly tak svoji účinnost (Holý, 1978; Novotný a kol., 2017).

Nejrůznějším návrhům protierozní ochrany musí vždy předcházet průzkum, z kterého jsou získávány podklady pro posouzení hydrologického stavu zkoumaného území a určení jeho erozní ohroženosti. Na základě analýzy průzkumu dochází k volbě nejvhodnějších systémů a prvků použitých pro dostatečnou ochranu půdy. Současně s návrhy musí být splněny i předpoklady zaručující soulad protierozních opatření s pozemkovými úpravami, které zahrnují i jednotlivé ekologické a vodohospodářské zásahy a zájmy v krajině (Janeček a kol., 2002).

Očekávaným efektem zvolených protierozních opatření je výrazné snížení účinku dopadajících kapek deště a unášecí síly povrchového odtoku, projevujících se zejména na svažitéjších pozemcích, kde je významně podpořena infiltrační schopnost půdy a zároveň minimalizováno riziko půdního smyvu do přilehlého okolí (Brtnický a kol., 2012).

V posledních letech je stále více zřejmé, že k zastavení vzrůstajícího tempa erozních jevů a následných škod způsobených neuváženou lidskou činností, bude zapotřebí spolupráce nejen všech odborníků, zabývajících se ochranou půdy, ale i zemědělců a vodohospodářů, kteří v ohrožené krajině žijí a hospodaří. Významnou úlohu bude plnit i kvalitní kooperace obcí a krajů, přičemž nezanedbatelnou roli mohou zastat i samotní ochránci přírody (Vopravil a kol., 2010).

7.1 Organizační opatření

Tento způsob ochrany půdy před je velmi účinný především proti erozi plošné a rýhové. Mezi základní ochranné prvky, kterými se organizační opatření vyznačují, řadíme vymezení hranic mezi lesem a zemědělskou půdou, pásové pěstování plodin, zatravnění a zalesnění, pozemkové úpravy a protierozní osevní postupy. Obecně je možné tato opatření charakterizovat jako způsob ochrany

půdního celku se snahou stanovit jeho optimální tvar a velikost. Tento celek je dále nutné navrhnout tak, aby byl situován svou delší stranou ve směru vrstevnic. Na takovém pozemku vhodně využíváme protierozního účinku kulturních plodin a vegetace, která zejména na svažitéjších půdních blocích riziko eroze výrazně snižuje (Janeček a kol., 2008; Holý, 1994).

Tvar a velikost pozemku

Při návrhu velikosti a tvaru pozemku je vždy žádoucí půdní celky situovat delší stranou rovnoběžně s vrstevnicemi a ve stejném směru je následně i obdělávat. Dochází tak ke zkrácení délky půdního celku po spádnicí, přičemž je nutné, aby délka ve směru odtoku nepřesahovala maximální délku, kterou vyjadřuje rovnice USLE (Podhrázká a kol., 2014).

Ideální tvar pozemku není vždy možné jednoznačně určit, je závislý na několika aspektech a podmínkách, které je nutné na dané lokalitě řešit. Pro zemědělské účely je dle Janečka (2008) nejlepším řešením návrh obdélníkového tvaru pozemku, který má poměr stran 1:2 až 1:3 s maximální výměrou 30 ha.

Dle Holého (1978) je velmi výhodná realizace návrhu pozemku i ve tvaru rovnoběžníku, jehož vnitřní úhly jsou 50 – 60°, a je obděláván po směru jeho nejdélejší strany.

V praxi je ovšem realizování ideálních návrhů půdních celků velmi obtížné a ve většině případů dochází k nejrůznějším kompromisům vztaheným vždy k jednotlivým podmínkám na řešeném půdnímu celku.

Delimitace kultur

Tento pojem slouží k vymezení a určení druhové skladby jednotlivých kultur, které budou následně na pozemku pěstovány. Nejvýznamnějším kritériem určujícím způsob protierozní ochrany se stává sklonitost území, dle které je následně vybrána nevhodnější forma použité vegetace. Pozemky vyznačující se vyšší sklonitostí neumožňují využívání půdy k pěstování kulturních plodin a není tak možné na ně pohlížet jako na ornou půdu. V takovém případě je vhodné území zatravnit, nebo zalesnit, aby došlo k minimalizaci náchylnosti půdy k vodní erozi.

V rámci organizace struktury půdního fondu jsou jednotlivé kultury členěny na pastviny, louky, sady, chmelnice, vinice, zahrady a ornou půdu (Janeček a kol., 2008; Novotný a kol., 2017).

Protierozní rozmístění plodin

Půdu lze chránit i takovým způsobem, kdy je z hlediska umístění plodin využito jejich protierozních účinků. Širokořádkové plodiny jako kukuřice a okopaniny mají zpravidla nejmenší protierozní účinnost a je vhodné tyto pěstovat na pozemcích rovinných, nebo mírně svažitéch, jejichž sklon nepřesahuje 8%. V případě vyšší sklonitosti pozemku je výhodné zvýšit ochranný účinek širokořádkových plodin tím, že se jednotlivé pásy takových plodin střídají s vrstevnicovými pásy obilovin a dalších plodin, které zvyšují účinnost proti erozi. Sklonitost půdy je v tomto druhu návrhu protierozního opatření zásadním faktorem. Obecně je dáno, že u svahu, který má sklonitost větší než 21% by měla být vyvinuta snaha o jeho trvalé zatravnění a svah, jehož sklon je větší než 36% je vhodné zalesnit (Vopravil a kol., 2010; Menšík, Kincl a kol., 2017).

Pásové střídání plodin

Princip této metody ochrany před erozí spočívá ve střídání jednotlivých pásů plodin, které mají vysoký protierozní účinek (jetel, travní porost, vojtěška, ozimá obilnina, řepka ozimá, hrách) s pásy plodin, jejichž protierozní účinek je výrazně menší (kukuřice, okopaniny). Pro dosažení nejvyššího protierozního účinku musejí být pásy s jednotlivými druhy plodin vedeny ve směru vrstevnic s maximálním odklonem do 30°. Následně je nutné, aby byla v tomto smyslu půda obdělávána. Samotná funkce ochranných pásů, osazených plodinami s vysokou schopností protierozního účinku, spočívá v zachycení smyté ornice a následné infiltraci srážkové vody, kterou pásy, disponující širokořádkovými plodinami, nebyly schopny účinně zadržet (Menšík, Kincl a kol., 2018).



Obázek 6 – Pásově střídání plodin; Foto: VÚMOP, v.v.i; Zdroj: Novotný a kol., 2017

7.2 Technická opatření

Jsou druhem rozsáhlých opatření, při kterých dochází k významnému přetváření a upravování krajiny. Bývá použit zejména v případech, kdy byla po předchozím průzkumu jednotlivá organizační a agrotechnická opatření vyhodnocena jako málo efektivní. Zároveň je ale účinnost tohoto způsobu protierozního opatření výrazně zvýšena tehdy, dochází-li k jeho kombinování s organizačními a agrotechnickými metodami ochrany půdy (Kubátová, 2001; Novotný, 2017).

Opatření technického charakteru jsou využívána především k vyrovnávání terénních příčných nerovností, snížení podélného sklonu a ochraně zemědělské půdy před vodou tekoucí z přilehlých lesních porostů. Také slouží k efektivnímu odvádění povrchových vod z povodí, ochraně obecních intravilánů, retardaci povrchového odtoku a měla by účinně zachycovat smytou zeminu z půdních bloků. Jednotlivá technická protierozní opatření dělíme v zásadě do dvou základních skupin. K první skupině je možné přiřadit veškeré zemní úpravy, zahrnující tvorbu mezí, teras a terénních urovňavek. Druhá skupina se následně vyznačuje využíváním nejrůznějších hydrotechnických prvků, jakými jsou např. průlehy, příkopy, nádrže a ochranné hrázky (Janeček a kol., 2002).

Terasy

Tvorba teras představuje řešení pro ochranu extrémně svažitéch pozemků na hlubokých a velmi hlubokých půdách, jejichž sklonitost je větší než 20%. Díky realizaci jednotlivých typů teras je možné následné pěstování plodin a obhospodařování půdy i na územích, kde by to za přirozených podmínek nebylo možné (Janeček a kol., 2008).

Vzhledem ke skutečnosti, že terasy představují nejvyšší stupeň ochrany zemědělské půdy a značně tak zasahují do geologie, pedologie, geomorfologie a biologie krajiny, je vždy nezbytně nutné pečlivě zvážit, zda a za jakých podmínek tohoto protierozního opatření využít (Novotný a kol., 2017).

Takto upravené svahy vytváří ideální podmínky pro pěstování trvalejších speciálních kultur, jakou jsou sady a vinice (Morgan, 2005)

Dle způsobu opevnění terasového svahu rozdělujeme typy teras na **terasy stupňové zemní**, které mají terasový stupeň stabilizovaný vegetačním zpevněním svahu a **terasy stupňové s opěrnými zdmi**, jenž mají terasový stupeň upevněn zárubní, nebo opěrnou zdí tvořenou z různých typů materiálů (kámen, beton, železobeton) (Kadlec a kol., 2014).

Dále jsou terasy děleny podle tvaru a velikosti plošiny na **terasy úzké**, umožňující výsadbu 1 až 2 řad vinné révy, nebo ovocných stromů a **terasy široké**, na kterých je možné vysadit nejméně tři řady vinné révy, ovocných stromů a keřů, přičemž nejmenší šířka terasové plošiny širokých tras pro vinice je 8 m při vzdálenosti 2 m a 12 m při vzdálenosti řad 12 m (Janeček a kol., 2008).

Meze

Hlavní funkční úloha všech nově navrhovaných mezí spočívá v zachycení a odnosu povrchového odtoku, přičemž by měly svým charakterem dotvářet krajinu. Protierozní mez bývá často navrhována jako nízká hrázka, která je v mnoha případech spojená s průlehem či mělkým příkopem, který by měl plnit hlavní protierozní funkci. Pro zachycení splavenin z výše ležícího pozemku je vhodné nad příkopem a průlehem vytvořit pás trvalého drnu v šířce alespoň 5m (Kadlec a kol., 2014; Novotný a kol., 2017).

Při tvorbě mezí je velice výhodné použít jejich zatravnění, či keřový a stromový porost. Samotné meze pak neplní pouze protierozní ochranu, ale zároveň

slouží i jako nepostradatelný biokoridor, který poskytuje migrační prostředí rostlinám a velkému množství živých organismů. (Podhrázská, Dufková, 2005).

Příkopy

Jedná se o liniový prvek, který je umístěn na půdním bloku v místě nutného přerušení svahu. Tento druh opatření nachází nejčastější využití v těsné blízkosti zastavěného území obce, kde vodu neškodně zachytává a následně odvádí mimo území. V případě ochrany intravilánu se příkop dimenzuje tak, aby byl schopný účinně odvádět srážkové úhrny s opakováním 10 – 50 let. Pokud má příkop sloužit pro ochranu vlastního zemědělského pozemku, je navrhnout na 5ti letý cyklus opakování dešťových vod. Z pohledu funkčnosti, kterou mají jednotlivé příkopy vykonávat se dělí na záchytné, sběrné a svodné (Janeček a kol., 2012; Novotný a kol., 2017).

Průlehy

Svým vzhledem a funkcí jsou průlehy velmi blízké protierozním příkopům. Jejich hlavní odlišnost spočívá v samotné hloubce průlehu, která bývá menší a ve sklonitosti svahů, jenž by neměla přesahovat poměr 1:5. Průleh nejčastěji zastává funkci retenční a zasakovací. Ve většině případů by měl být navrhován tak, aby byl přes tento protierozní prvek možný přejezd zemědělskou technikou. Vhodné je orientovat průleh ve směru po vrstevnici a vždy by měl být aplikován na zemědělských pozemcích, které sklonitostí nepřesahují 10%. Stejně jako v případě protierozních příkopů je možné tento druh dle funkce dělit na záchytné, sběrné a svodné (Janeček a kol., 2012; Novotný a kol., 2017).

Teréní urovnávky

Při úpravě zemědělského pozemku terénními úpravami dochází především k odstranění místních nerovností na půdním bloku, v důsledku čehož je zlepšena jeho charakteristika a výrazně snížena jeho ohroženost vodní erozí. V rámci využití tohoto opatření je velmi důležité, aby pozemky podléhající takové úpravě disponovaly hlubokými půdami. Samotný přesun zeminy by měl probíhat vždy v rámci jednoho půdního celku. Snížení příčného sklonu a omezení možnosti

soustředování povrchového odtoku je vždy cílem toho opatření (Janeček a kol., 2008; Holý, 1994).

Nádrže

Tyto prvky patří mezi nejúčinnější opatření chránící intravilán a infrastrukturu proti následkům povrchového odtoku a zeminy transportované erozním smyvem. Od každé stavby plnicí účel nádrže je očekáváno, že bude účinně zachycovat vydatný přísun smyté zeminy a zároveň bude schopna transformovat povodňové vlny, vytvořené samotným povrchovým odtokem z půdních bloků (Novotný a kol., 2017; Toman, 1995).

Nádrže je možné rozdělit na nádrže s hladinou stálého nadržení a nádrže suché. Při jejich návrhu je vždy nutné vycházet z požadavků normy na malé vodní a suché nádrže. Jejich dimenzování by mělo vždy poskytovat požadovanou míru ochrany, která bývá zpravidla v hodnotách srážek s opakováním 20 až 50 let a v případě zvláště závažných důvodů i 100 let. Nejvíce je využíváno suchých typů nádrží, které jsou z hlediska vlivu na kvalitu vody nejvýhodnější. Dno suchých nádrží je totiž možné velice dobře obhospodařovat a vzhledem k tomu, že v nich není voda zadržována delší dobu, nedochází ani ke kontaminaci vody látkami obsažených v půdě smyté do nádrže (Podhrázská., 2005; Novotný., 2017).

7.3 Agrotechnická opatření

Agrotechnickými protierozními opatřeními rozumíme efektivní způsoby obdělání a osevu půdy, které by zabránily jejímu znehodnocování vlivem vodní eroze. Zabývají se především pokryvností půdy osevem různými druhy plodin, který by výrazně eliminoval důsledky povrchového odtoku při nadměrných dešťových srážkách, projevujícího se erozním smyvem a transportem splavenin, které způsobují výrazné škody jak na samotném pozemku, tak i mimo něj. Vegetační pokryv půdy je jedním z nejdůležitějších agrotechnických opatření pro její ochranu a také přínosem pro možnost půdu efektivně dlouhodobě využívat. Opatřením agrotechnického charakteru mohou vždy předcházet opatření organizační, která nejčastěji předkládají návrhy a odborně zpracované projekty pozemkových úprav. Použití agrotechnických opatření současně s vhodně zvolenými technickými opatřeními, při vzájemné kombinaci vytvářejí velmi účinný systém ochrany půdy proti erozi (Vopravil a kol., 2010; Menšík, Kincl a kol., 2018).

Agrotechnická opatření dle Novotného (2017) zahrnují:

- Setí a sázení po vrstevnici
- Ochranné obdělávání
- Hrázkování a důlkování
- Plečkování, dlátování a podryvání
- Setí kukuřice do úzkého řádku
- Pásové zpracování půdy

Setí a sázení po vrstevnici

Šetrnou orbou a dalšími agrotechnickými operacemi jako jsou setí, kultivace a sklizeň, které jsou prováděny ve směru vrstevnic (případně s malým odklonem od vrstevnic do 30°) lze velmi významným způsobem chránit půdní celek před erozí. Půda by při samotné orbě za pomoci oboustranných otočných pluhů měla být vždy překlápěna proti svahu. Je odhadováno, že při tomto způsobu zpracování půdy je zadrženo až 10 tun ornice na každém hektaru, která by byla při konvenčním způsobu orby záhonovými pluhy sunuta po svahu (Janeček a kol., 2008; Novotný a kol., 2017).

Ochranné obdělávání půdy

Tento systém je založen na principu ponechání nejméně 30% rostlinných zbytků na povrchu půdy, jenž při obdělávání a pěstování plodin výrazně snižuje riziko vzniku vodní a větrné eroze. V rámci tohoto způsobu obdělávání půdy je nutné redukovat počet operací při půdním zpracování na minimum jejich sloučením a zároveň maximálně využít ochranný potenciál pokryvu rostlinných zbytků, jejichž ponecháním na povrchu půdy společně se zapojeným porostem pěstovaných plodin následně dochází k významnému ochrannému účinku. Do ochranných technologií řadíme především bezorbné setí, setí a sázení do mulče meziplodiny či předplodiny, setí do mělké podmítky a setí hlavní plodiny s podplodinou v meziřadí (Hůla a kol., 2003; Janeček a kol., 2012).

Technologie hrázkování a důlkování

Hrázkování je využíváno především při pěstování brambor. Při použití této technologie dochází k zakládání ochranných hrázek, které jsou umístěny v meziřadí jednotlivých hrůbků. Samotné hrázky jsou pomocí hrázkovače vytvořeny ve stejné vzdálenosti mezi hrůbků, přičemž dochází ke vzniku řady malých příkopů, které akumulují srážkovou vodu a zamezují tak vzniku povrchového odtoku. Tímto způsobem je výrazně podpořeno i zadržování vody na pozemku v důsledku čehož plodiny lépe prosperují. Tento způsob opatření je aplikován hrázkovačem ihned po výsadbě brambor. Pro zvýšení protierozního účinku by měly být samotné hrázky vedeny vždy po směru vrstevnic a nepřerušená délka pozemku po svahu by neměla být delší, nežli 300 metrů. Technologie důlkování je stejně jako hrázkování v nejčastějším případě využívána při pěstování brambor. Místo hrázek zde dochází k vytváření důlků v meziřadí ve vzdálenosti 30 – 40 cm, které eliminují povrchový odtok a zvyšují schopnost vody pronikat do půdy. Vzhledem k tomu, že tyto technologie dokáží v porovnání s klasickým způsobem pěstování snížit účinek eroze až o 85% a jsou při pěstování brambor považovány za nejúčinnější (Novotný a kol., 2017; Hůla a kol., 2003).

Plečkování

Jedná se o technologii meziřádkové kultivace, která je prováděna již v průběhu vegetace jednotlivých širokořádkových plodin, jako jsou kukuřice, slunečnice, cukrovka a brambory. Při plečkování dochází k narušení utuženého půdního škraloupu, aplikaci hnojiva a mechanickému odplevelení meziřadí hlavních plodin. Utužená svrchní vrstva půdy, která vznikla především vlivem pojezdu techniky při přípravě půdy a setí hlavní plodiny, je pomocí plečkovacího pluhu nakypřena a tím dochází i k výraznému omezení zrychleného povrchového odtoku (Novotný a kol., 2017, Hůla a kol., 2003).

Hloubkové kypření a podrývání

V současné době se metoda hloubkového kypření stává velmi využívanou. Odhaduje se totiž, že více jak polovina veškerých zemědělsky využívaných půdních bloků na území ČR je vystaveno problémům spojených s půdním utužením. Dlátováním (hloubkovým kypřením) je možné kultivovat meziřadí rostlin, čímž je následně docíleno vyššího efektu zasakování povrchové vody, nežli u plečkování. Tento způsob protierozního opatření je uplatňován především při pěstování cukrové řepy a řepky olejné (Novotný a kol., 2017; Kincl a kol., 2017).

Podrývání představuje vyšší stupeň hloubkového kypření půdy, kdy je pomocí kypřičů a podrýváků půda prokypřena do hloubky větší jak 35cm. Zároveň je při tomto způsobu zpracování půdy nutné, aby byla hloubka podrývání minimálně o 5 – 10 cm větší, než je samotná hloubka orby na daném pozemku (Vopravil a kol., 2010; Kincl a kol., 2018).

Setí kukuřice do úzkého řádku

Pěstování širokořádkové plodiny kukuřice seté je z hlediska vzniku vodní eroze velmi rizikové. V současnosti je na území ČR kukuřice vysévána jako širokořádková plodina, kde vzdálenost jednotlivých řádků od sebe činí zhruba 70 – 75cm. Cílem této poměrně nové technologie je snížení rozestupu řádků na vzdálenost 35 – 45 cm, v důsledku čehož je zajištěno rovnoměrnější zapojení porostu a zvýšená ochrana půdy proti erozi, za podmínek kdy je plodina schopna dobře

prosperovat a nedochází k jejímu negativnímu ohrožení mezi sebou vlivem samotné růstové konkurence (Menšík, Kincl a kol., 2018; Novotný a kol., 2017).

Pásové zpracování půdy

Tato minimalizační technologie spočívá v cíleném zpracování půdy pouze v místě, které je nutné pro růst samotné plodiny za současného podávání důležitých živin a hnojiv. Jedná se stále o poměrně novou technologii vzniklou ve Spojených státech. Ztráta půdy vlivem vodní eroze je zde výrazně snížena střídáním plodin ohrožených erozí s meziplodinami, které poskytují významný ochranný faktor. Velkým přínosem této nové technologie je již několika pokusy prokázán vysoký protierozní účinek. Vzhledem k tomu, že je půda zpracovávána jen v páscích, mající šířku cca 15 cm (dle pěstované plodiny) a hloubku 15 – 25cm, je další nespornou výhodou i nižší potřebná tahová síla na jednotku záběru stroje, která se projevuje na významné úspoře paliva oproti využití konvenčního způsobu orby. Největšího protierozního účinku bylo jednotlivými pokusy dosaženo v případě, že byla tato technologie zpracování půdy aplikována do porostů vhodně zvolených plodin a předplodin (Kincl a kol., 2018; Brant a kol., 2016).

V současnosti dochází velmi často k pásovému zpracování půdy do předplodin (např. strniště obiloviny) a meziplodin (např. hořčice, svazenka apod.) Tento trend je odrazem skutečnosti, že pro maximalizaci snížení erozní ohroženosti pozemku je nezbytně nutné půdu ponechat co možná nejkratší dobu bez vegetačního pokryvu. Samotný rostlinný pokryv ve formě předplodin a meziplodin je však velmi důležité při setí hlavní plodiny odstranit tak, aby nebránil v jejím přirozeném vzrůstu a vitalitě. K umrtvení předplodin před osevem tak v dnešní době dochází především za využití glyfosátů na bázi fosforu, které jsou velmi populární v poměru ceny a účinnosti v hubení předplodin. Řešení této problematiky má však velký potenciál v rámci nahrazení těchto chemických desikantů přírodními hubiči plevelů. Oblast tohoto výzkumu je v počátcích a veškeré nyní známé organické náhrady jsou realizovány pomocí kyseliny octové, výluhem z hřebíčku, nebo vodní párou. Účinnost těchto alternativních a půdě šetrných řešení je však výrazně nižší, přičemž případné náklady za potenciální využití neúměrně vyšší. Pro udržitelný rozvoj zemědělství a ochranu půdy bude však nezbytně nutné tuto otázku efektivně vyřešit.

7.3.1 Protierozní technologie pěstování kukuřice a slunečnice

Pěstování kukuřice je z hlediska vodní eroze jednou z nejrizikovějších činností zemědělské výroby. Vodní eroze při pěstování kukuřice může způsobit nevratné škody na zemědělské půdě. Riziko spojené s erozními událostmi je však možné vhodnými agrotechnickými opatřeními výrazně snížit. V tomto případě se tedy jedná o uplatňování půdoochranných technologií zpracování půdy, které zajišťují její zabezpečení před nepříznivými účinky nadměrných vodních srážek a přívalových dešťů (Janeček a kol., 2008).

7.3.2 Technologie setí kukuřice do strniště s rostlinnými zbytky

Jedná se o způsob, při kterém se kukuřice sází přímo do zbytků sklizené přezimující meziploidy (např. ozimé směsky sklizené na zeleno). K efektivnímu využití této technologie je nutné použití stroje umožňující přímé setí, který rotačně zpracovává pouze úzké pruhy půdy. Při tomto způsobu setí zůstává meziřadí zcela nezpracováno a je tak předurčeno pro plnění protierozní funkce (Janeček a kol., 2012).

7.3.3 Technologie setí kukuřice a slunečnice do obilní slámy

Na povrchu půdy je před setím sláma z předplodiny buď volně ponechána, nebo je možné ji mělce zapravít pomocí kypřiče. Nejsnažší způsob, jak lze využít dobrého prokypření představuje použití přesného rotačního secího stroje. Při bezorebném výsevu jsou semena kukuřice sety přímo do rozdrcené slámy po sklizené obilovině. Na jaře je kukuřice vysévána do strniště slámy, které je na povrchu půdy ponecháno a vhodně rozhozeno pomocí drtiče slámy, který je na samojízdné žací mlátičce nesen v její zadní části současně při sklizni obiloviny. Plevel a nežádoucí vegetační pokryv půdy je před samotným setím hlavní plodiny likvidován pomocí glyfosátů (Janeček a kol., 2008; Liu a kol., 2017).

7.3.4 Technologie pěstování kukuřice ve vymrznuté meziploidy

Tato technologie využívá nadzemní hmoty rostlinného porostu meziploidy po přemrznutí, která velmi významně chrání půdu před erozí a zároveň zadržuje živiny, které by byly na nechráněné půdě z velké části vyplaveny. V zimním období dochází

k odumírání vymrzajících mezipločin (svazenka vratičolistá, hořčice bílá) a v jarním období je do takto mulčem pokryté půdy z mezipločin možné vysévat kukuřici, nebo slunečnici. Před samotným setím hlavních plodin je nutné půdu ošetřit aplikací ekologicky přijatelných herbicidů, které mají za úkol eliminovat veškerý přítomný plevel a případně i umrtvit mezipločinu, u které vlivem slabších mrazů v zimním období nedošlo k úplnému přemrznutí (Janeček a kol., 2012; Novotný a kol., 2017).



Obrázek 6 – Porost kukuřice seté do přemrznuté svazenky vratičolisté;
Foto: VÚMOP v. v. i.; Zdroj: eAgri

Nejvyšší protierozní ochranu v současnosti představuje realizace přímého setí přesným secím strojem do přemrzlé mezipločiny a ponechaných rostlinných zbytků. Využití této technologie je však vhodné aplikovat jen v takových půdách, které nejsou zhutnělé, mají dobrou strukturu a lze je snadno zpracovávat. (Janeček a kol., 2012; Kincl a kol., 2018).



Obrázek 7 – Pásové zpracování půdy; Zdroj: (Encyklopedie vumop.cz)

8. Metodika praktické části

Na základě dat Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, která jsou součástí projektu č.: QJ1510179 „Komplexní půdoochranné technologie zakládání *Zea mays* L. v rámci reintenzifikace rostlinné výroby“, bylo cílem praktické části práce porovnat moderní agrotechnickou technologii pásového zpracování půdy s konvenčním způsobem orby, který představoval kontrolní variantu. K ověření účinnosti této technologie byla vybrána jako primární plodina kukuřice setá, která v současnosti představuje z hlediska erozních výskytů nejohroženější plodinu.

Klíčovou metodou pro získání dat a jejich následného vyhodnocení bylo měření pomocí polního simulátoru deště Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, které bylo uskutečněno na vhodně vybraných zemědělských plochách ohrožených vodní erozí.

8.1 Charakteristika zájmového území

Praktická část této práce byla uskutečněna na plochách zemědělského družstva Krásná Hora nad Vltavou a.s. u vesnice Porešín (viz. obrázek č. 8), která je dle správního členění součástí obce Petrovice. Zájmové území se nachází v okrese Příbram, ve Středočeském kraji, přibližně 13,5 km jihozápadně od města Sedlčany. Z hlediska členění georeliéfu ČR je lokalita umístěna v oblasti Středočeské pahorkatiny, kde se nadmořská výška pohybuje v rozmezí 450 - 700 m n. m. V rámci krajinného využití tvoří zemědělsky obhospodařované plochy téměř 2/3 zájmového území, ale vzhledem k značné členitosti jsou v oblasti hojně zastoupeny i trvalé travní porosty.

Průměrný roční srážkový úhrn činí 650 – 750 mm. Klimatické podmínky v daném regionu jsou mírně teplé, vlhké, s průměrnou roční teplotou mezi 6 až 9° Celsia. Průměrná půdní sklonitost plochy činila 17,18 % , tedy přibližně 10°. Kvalita půdy je zde střední až nižší a z pohledu půdního typu se jedná o Kambizem. Zdejší půdy jsou velmi chudé na organickou hmotu, což vytváří značnou náchylnost ke vzniku vodní eroze.



Obrázek 8 – Umístění pokusných ploch na lokalitě Porešín; Zdroj: VÚMOP v. v. i

9. Výsledky

Pro ověřování protierozní účinnosti agrotechnické technologie pásového zpracování půdy byly ve spolupráci se zemědělským družstvem Krásná Hora nad Vltavou vybrány vhodné pozemky, které se nachází ve Středočeském kraji, v okrese Příbram na lokalitě Porešín. Tyto územní celky svými půdními a sklonitostními vlastnostmi představovali z hlediska ohrožení vodní erozí ideální plochu pro založení polních pokusů. Na připravené zemědělské ploše následně docházelo k ověřování půdoochranného efektu pomocí polního simulátoru deště Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy. Dešťový simulátor umožňuje měřit aktuální ztrátu půdy způsobenou vodní erozí a je schopen zaznamenat infiltrační schopnost půdy během srážkové simulace.



Obrázek 9 – Polní simulátor deště výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy; Zdroj: (<https://www.vumop.cz/simulator-deste>)

Samotné měření pomocí simulátoru deště principiálně spočívalo v rozstříku vody na jasně definovanou a ohraničenou plochu 21 m², kdy trysky ve zvoleném režimu postříkují plochu po celou dobu měření. Režim postřiku půdy probíhá při prvním zadeštění po dobu 30 minut a v případě že nedojde k povrchovému odtoku, který by mohl být zaznamenán, měření se prodlužuje o dalších 30 minut. Následně proběhla 15 minutová technologická pauza, po které se provedlo na již vlhkou půdu druhé 15 minutové zadeštění (Menšík, Kincl a kol., 2018).

Intenzita simulované dešťové srážky byla volena na základě doporučení ČHMÚ, která představuje průměrnou velikost přívalové srážky v ČR. Za tuto intenzitu je považováno 60mm/hod, přičemž při realizaci režimu zadeštění byla brána na zřetel také podmínka (v průběhu 15 minut alespoň 6,25mm), jenž je stanovena v metodice „Ochrana zemědělské půdy před erozí“ autorů Janečka a kol. (2012). Měření probíhalo vždy dvakrát po sobě, tedy nejprve na půdě s přirozenou vlhkostí a následně na půdě nasycené po prvním zadeštění (Vopravil a kol., 2010; Kincl a kol., 2018).

Na vymezených pokusných plochách byla ověřována účinnost jednotlivých technologií a výsledné hodnoty byly srovnávány s údaji získanými z parcely černého úhoru (kypřená plocha držená bez vegetace), která sloužila jako kontrolní varianta.

Při ověřování účinnosti protierozních opatření je vždy kladem důraz na dodržení jednotných a standardizovaných podmínek na všech pokusných variantách. Jednotlivá měření pomocí simulátoru deště byla provedena ve třech termínech, přičemž každý termín odpovídá určitému pěstebnímu období a fenologické fázi pěstované plodiny.

První termín zadeštění

Na pokusných plochách v Porešíně proběhl první termín zadeštění v druhém pěstebním období, které je definováno jako „období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí, nebo sázení“. Výška porostu kukuřice na území činila v průměru 25-30 cm a rostliny měly 4-5 vyvinutých listů. Celková pokrývnost plochy hlavní plodinou dosahovala 15-20%. Z výsledků simulace na zájmovém území je možné pozorovat velice příznivé výsledky technologie pásového zpracování travního porostu (viz tabulka č. 1). Ve srovnání s konvenční variantou, kterou představuje orba, došlo ke snížení o 97% ve ztrátě půdy a povrchový odtok byl snížen o 51%.

Pořadí zadeštění	Varianta	Výška plodiny	Vlhkost půdy % obj.		Začátek povrchového odtoku	Infiltrace	Velikost povrchového odtoku	Ztráta půdy
		(cm)	Před zadeštěním	Po zadeštění	(s)	(mm)	(mm)	(t.ha ⁻¹)
I. Zadeštění 30 min.	Konvenční orba	30	8,1	22,5	69	27,36	9,33	6,97
	Jarní pásové zpracování půdy	28	14,9	27,3	155	32,18	4,52	0,24
II. Zadeštění 15 min.	Konvenční orba	30	22,5	23,4	52	13,06	5,19	3,09
	Jarní pásové zpracování půdy	28	27,3	29,6	155	14,89	3,57	0,20

Tabulka 1 – První termín zadeštění

Druhý termín zadeštění

Druhé měření simulátorem deště proběhlo v termínu, který dle Janečka a kol. (2012) odpovídá třetímu pěstebnímu období (období po dobu druhého měsíce od jarního, nebo letního setí). V tomto období dosahoval porost kukuřice na lokalitě Porešín výšky 1,5-1,65 m a měl 9-10 vyvinutých listů. Pokryvnost plochy plodinou byla přibližně 65%. V porovnání s prvním termínem zadeštění je u konvenční orby možné pozorovat výrazné snížení ztráty půdy. Tento jev je způsoben především tím, že již zapojený porost do značné míry chrání půdu snižováním kinetické energie dopadajících kapek deště. Půdoochranný efekt technologie pásového zpracování je i v tomto termínu významný (viz tabulka č. 2) Oproti konvenční orbě nastalo při zadeštění na přirozeně suchou půdu snížení ztráty půdy o více jak 91% a 67% povrchového odtoku.

Pořadí zadeštění	Varianta	Výška plodiny	Vlhkost půdy % obj.		Začátek povrchového odtoku	Infiltrace	Velikost povrchového odtoku	Ztráta půdy
		(cm)	Před zadeštěním	Po zadeštění	(s)	(mm)	(mm)	(t.ha ⁻¹)
I. Zadeštění 30 min.	Konvenční orba	165	7,4	21,2	11	23,91	12,52	2,36
	Jarní pásové zpracování půdy	150	16,1	27,6	97	32,32	4,14	0,21
II. Zadeštění 15 min.	Konvenční orba	165	21,2	22,7	33	9,88	8,24	1,36
	Jarní pásové zpracování půdy	150	27,6	29,4	85	14,90	3,38	0,15

Tabulka 2 – Druhý termín zadeštění

Třetí termín zadeštění

V termínu, který dle Janečka a kol. (2012) odpovídá čtvrtému pěstebnímu období (období od konce 3. pěstebního období až do sklizně) bylo provedeno třetí měření. Kukuřice na zájmovém území dosahovala výšky 2,30-2,50 a měla 11-12 vyvinutých listů. Pokryvnost plochy plodinou byla díky zvýšenému suchu nižší a činila přibližně 60%. V tomto termínu měření lze pozorovat významné snížení měřených charakteristik vodní eroze (viz. tabulka č. 3). Výsledek je ovlivněn především významným suchem, které panovalo v době simulace. Za povšimnutí stojí naměřené hodnoty povrchového odtoku, kde i přes výrazné sucho došlo poměrně záhy k odtoku u všech variant.

Pořadí zadeštění	Varianta	Výška plodiny	Vlhkost půdy % obj.		Začátek povrchového odtoku	Infiltrace	Velikost povrchového odtoku	Ztráta půdy
		(cm)	Před zadeštěním	Po zadeštění	(s)	(mm)	(mm)	(t.ha ⁻¹)
I. Zadeštění 30 min.	Konvenční orba	250	1,5	19,8	63	25,83	10,67	0,27
	Jarní pásové zpracování půdy	230	1,8	20,9	138	27,18	9,67	0,12
II. Zadeštění 15 min.	Konvenční orba	250	19,8	26,4	29	13,09	5,05	0,05
	Jarní pásové zpracování půdy	230	20,9	26,7	173	13,30	4,86	0,03

Tabulka 3 – Třetí termín zadeštění

Na základě výsledků ze všech termínů simulací zadeštění lze konstatovat, že k nejvýznamnějšímu ohrožení půdy vodní erozí dochází do doby, než dojde k zapojení porostu plodiny, která následně tlumí kinetickou energii dopadajících kapek a vodu na půdu dále propouští pouze zprostředkovaně jako okap z listoví, či odtok po samotném travním porostu. Z výsledných hodnot je zcela zřejmé, že oproti konvenčnímu způsobu orby je technologie pásového zpracování do travního porostu z hlediska ochrany před ztrátou půdy velmi účinná již v prvním termínu zadeštění, kdy je půda k erozním jevům nejnáchylnější. V případě pásového zpracování půdy dochází při povrchovém odtoku k minimalizaci ztráty půdy především z toho důvodu, že je plocha zpracována pouze v pásících určených pro zasetí plodiny.

Celková plocha zpracované půdy oproti konvenční orbě je tak významně menší, což je zřetelné i na hodnotách měření povrchového odtoku a následných půdních ztrátách. Velice důležitou roli zde hraje i zvolená mezplodina (v tomto případě travní porost), který značně zmírňuje erozní efekt dopadající dešťové vody a podporuje její infiltraci do půdy.

Možností jak souhrnně zhodnotit výsledky z měření půdoochranných technologií je celá řada. Z pohledu Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy je však nejefektivnější využití Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí – USLE (Wischmeier W.H., Smith D.D., 1978). Významným ukazatelem efektivnosti půdoochranné technologie se stává faktor ochranného vlivu vegetace (C-faktor). Ten kvantifikuje míru ochrany půdy vlivem vegetačního pokryvu. Dosažené hodnoty C – faktoru byly stanoveny poměrem ověřované technologie pásového zpracování do travního porostu k pravidelně kypřenému úhoru při měření polním simulátorem deště. Vždy se jednalo o průměr mezi první simulací provedenou na přirozeně suchou půdu a druhou simulací na vlhkou půdu. Tímto způsobem došlo k odvození střední hodnoty z jednotlivých simulací pro druhé, třetí a čtvrté pěstební období. Pro první a páté pěstební období byly hodnoty převzaty z metodiky Ochrana zemědělské půdy před erozí dle Janečka a kol., (2012). Přehled měřených hodnot C – faktoru (viz tabulka č. 4) zřetelně znázorňuje účinek ponechání travního porostu při použití technologie pásového zpracování půdy, oproti konvenční variantě půdního zpracování (orba - široký řádek), kde je v počáteční fázi vývoje plodiny půda zcela vystavena erozním účinkům dešťových kapek.

Pěstební období a délka trvání	Konvenční varianta - orba (široký řádek)	Strip-till do travního porostu jarní
I. pěstební období (1.4-15.4)	0,004	0,000
II. pěstební období (16.4- 31.5)	0,137	0,002
III: pěstební období (1.6-30.6)	0,077	0,002
IV: pěstební období (1.7-15.9)	0,094	0,005
V: pěstební období (16.9-31.10)	0,042	0,003
Výsledná roční hodnota C faktoru	0,35	0,01
Relativně ke konvenční orbě		3%

Tabulka 4 – Roční hodnota C-faktoru - dubnový termín setí

Zjednodušeně lze konstatovat, že čím menší je výsledná hodnota C – faktoru u ověřované technologie, tím lépe odolává erozním jevům a rizikům s erozí spojených. Výsledná roční hodnota C – faktoru u konvenční orby činila 0,35 a stala se nejvyšší naměřenou hodnotou ze všech technologií. Výrazně nižších hodnot dosáhla právě technologie pásového zpracování půdy do herbicidem umrtveného travního drnu. Tato technologie vykazuje z hlediska půdních ztrát dlouhodobě nejlepší výsledky.

10. Diskuze

Problematika ochrany půdy je současnosti velmi aktuální téma. Na území České republiky je půda ohrožena vodní erozí ve velké míře a je tak nezbytně nutné usilovat o minimalizaci počtu samotných erozních jevů, případně důsledků, které eroze způsobí. Událostí během kterých dochází k degradačním procesům půdy bohužel v průběhu posledních desítek let přibývá, a to především díky neuvážené lidské činnosti. Zdejší krajina prošla působením člověka značně složitým historickým vývojem, na který měli vliv jak politické, tak i hospodářské zájmy. V rámci intenzifikace zemědělství a velkoplošného obdělávání půdy docházelo v minulosti k zániku mezí, mokřadů, polních cest a dalších přirozeně se vyskytujících krajinnotvorných elementů, jenž tvořili významnou úlohu v zadržování vody, její infiltraci a snižovaly tak možnost vzniku eroze.

Člověk využívá a ovlivňuje půdu již od doby neolitu, ale teprve minulé století dalo vzniknout nové vědní disciplíně – erodologii. Poznatky, které člověk o půdě a jejím fungování získává, jsou stále obsáhlejší a přesnější. V současné době je díky využívání moderní techniky možné realizovat rozsáhlejší a cílená měření, která poskytují velmi cenné údaje o stavu půdy a efektivnosti využívání jednotlivých půdoochranných technologií. Vhodně zvolená protierozní opatření a využití nových technologií při obdělávání hospodářské půdy mohou v budoucnu minimalizovat riziko degradačních procesů zemědělské půdy a zajistit tak nejen šetrné nakládání s půdou, ale i stabilní úrodnou zem, která bude živit stále narůstající populaci.

Pro realizaci těchto záměrů je ovšem nezbytná podpora současné legislativy, která by měla vést k aplikaci půdoochranných technologií a pomocí dotací a dalších opatření tak motivovat zemědělce k jejich využívání.

11. Závěr

Práce byla zaměřena na představení problematiky vodní eroze a možnostech její minimalizace, především pomocí využití nových agrotechnických technologií zpracování zemědělské půdy. V úvodní části je zdůrazněn význam, důležitost a nezastupitelnost půdy pro člověka. Zmíněno je zde několik různých definic půdy v závislosti na tom, jak na ni konkrétní autor nahlíží. Práce pokračuje popisem hlavních funkcí půdy pro lidstvo a biosféru, čímž se snaží přiblížit důvody k její nezbytné ochraně.

Dále je věnována pozornost pojmu eroze a jejím jednotlivým druhům. Rozlišuje erozi normální, která je též nazývána geologickou a erozi zrychlenou, která je způsobena neuváženou lidskou činností. Právě zrychlené erozi je v této části věnována zvýšená pozornost. Tento proces se objevuje od doby, kdy člověk začal narušovat strukturu přirozeného krytu půdy tvořeného převážně lesním porostem, s cílem vytvářet na nově vzniklých půdních celcích plochy určené k pěstování plodin pro svou obživu.

Velmi důležitým tématem v rámci zpracování literární rešerše této práce je následně část zabývající se vodní erozí. Tímto druhem eroze je ohrožena více nežli polovina všech zemědělsky využívaných půdních celků v České republice a především proti vodní erozi je prováděna většina ochranných opatření, včetně využití nejrůznějších technologií zpracování. Kapitola začíná definicí vodní eroze a vysvětlením okolností, za kterých vzniká. Podrobně popisuje formy vodní eroze a jejich příčiny. Popsány jsou zde i samotné důsledky této eroze, které by svým dosahem měli motivovat k uvážlivému způsobu hospodaření.

Určení ohroženosti pozemků vodní erozí pomocí univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy erozí (USLE) bylo předmětem následující kapitoly. Pomocí této rovnice je možné vyjádřit účinky hlavních faktorů, které jsou vodní erozí v důsledku přívalových dešťů způsobeny. Na základě jednotlivých činitelů v rovnici je možné propočítat dlouhodobou ztrátu půdy.

Protierozní opatření představují stěžejní téma literární rešerše. Tato opatření je možné rozdělit na organizační, technická a agrotechnická. V práci jsou ke každé skupině možných řešení uvedeny jednotlivé způsoby realizace. Zvláštní pozornost je věnována agrotechnickým technologiím zpracování půdy, které disponují velkým potenciálem chránit zemědělské půdní celky. Zabývají se především pokryvností

půdy osevem různých druhů plodin, které eliminují povrchový odtok. Zároveň využívají nejnovějších technologických poznatků v oblasti strojů pro zpracování zemědělské půdy, jejichž vývoj a modernizace umožňuje efektivnější a šetrnější přístup k půdním celkům.

Praktická část práce obsahuje polní pokus měření simulátorem deště Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, který byl uskutečněn na lokalitě Porešín ve Středočeském kraji. Cílem pokusu bylo na základě naměřených dat z jednotlivých termínů zadeštění porovnat půdoochranný efekt agrotechnické protierozní technologie jarního pásového zpracování půdy s konvenčním způsobem zpracování půdy orbou. Z hlediska velikosti povrchového odtoku a následných půdních ztrát dosahovala technologie pásového zpracování půdy do travního porostu mimořádné půdoochranné účinnosti.

Všechna opatření, která jsou využívána pro efektivní eliminaci negativních dopadů eroze na zemědělskou půdu při pěstování širokořádkových plodin je však nezbytně nutné posuzovat nejen z hlediska ochrany půdy, ale je vždy důležité sledovat i výnos a náklady spojené s využitím konkrétního typu agrotechniky.

12. Seznam použité literatury a dalších zdrojů

BENNETT H. H., 1939: Soil conservation. McGraw-Hill Book Company inc., New York.

BRANT V., ZÁBRANSKÝ P., KROULÍK M., PIVEC J., ŠKEŘÍKOVÁ M., 2016: Cukrová řepa bez orby - pásové zpracování půdy 2. část. ISSN: 0139-6013.

BOARDMAN J., POESEN J., 2006: Soil erosion in Europe. John Wiley & Sons Inc., Hoboken. ISBN 9780470859100.

BRTNICKÝ M., VOPRAVIL J., VRABCOVÁ T., HLADKÝ J., KHEL T., NOVÁK P., VLČEK V., KINICKÝ J., 2012: Degradace půdy v České republice. Brno. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Praha. ISBN 978-80-87361-20-7.

CÁBLÍK J., JÚVA K., 1963: Protierozní ochrana půdy: celostátní vysokoškolská učebnice: určeno studentům vysokých škol zemědělských a technických. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

DUMBROVSKÝ M.; TRANTINOVÁ M.; HOŠKOVÁ V., 2009: Výsledky inventarizace zemních teras v České republice. PowerPrint, Praha: 2009. ISBN 978-80-903258-7- 6.

HOLÝ M., 1978: Protierozní ochrana. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.

HOLÝ M., 1994: Eroze a životní prostředí. České vysoké učení technické, Praha. ISBN 80-01-01078-3.

HŮLA J., JANEČEK M., KOVAŘÍČEK P., BOHUSLÁVEK J., 2003: Agrotechnická protierozní opatření, VÚMOP, Praha. ISBN 1211-3972.

JANEČEK M., BEČVÁŘ M., BOHUSLÁVEK J., DUFKOVÁ J. DUMBROVSKÝ M., DOSTÁL T., HŮLA J., JAKUBÍKOVÁ A., KADLEC V., KRÁSA J., KUBÁTOVÁ E., NOVOTNÝ I., PODHRÁZSKÁ J., TIPPL M., TOMAN F., VOPRAVIL J., VRÁNA K., 2007: Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha. ISBN 978-80-254-0973-2.

JANEČEK M., 2002: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Institut sociálních věcí. ISBN 978-807375-112-8.

JANEČEK M., 2008: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita, Praha. ISBN 978-80-213-1842-7.

JANEČEK M., DOSTÁL T., KOZLOVSKY DUFKOVÁ J., DUMBROVSKÝ M., HŮLA J., KADLEC V., KONEČNÁ J., KOVÁŘ P., KRÁSA J., KUBÁTOVÁ E., KOBZOVÁ D., KUDRNÁČOVÁ M., NOVOTNÝ I., PODHRÁZSKÁ J., PRAŽAN J., PROCHÁZKOVÁ E., STŘEDOVÁ H., TOMAN F., VOPRAVIL J., VLASÁK J., 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. Powerprint, Praha. ISBN 978-80-87415-42-9.

KADLEC V., 2014: Navrhování technických protierozních opatření: metodika. 1. vydání. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., ISBN 978-80-87361-29-0.

KARÁSEK P., PODHRÁZSKÁ J., STEJSKALOVÁ D., NOVÁKOVÁ E., KUČERA J., 2014: Systém analýzy území a návrhu opatření k ochraně půdy a vody v krajině: Podklad pro územní plánování a pozemkové úpravy. Brno: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2014. ISBN 978-80-87361-27-6.

KINCL D., ŠEDEK A., 2017: Vývoj stroje pro pásové zpracování půdy v tuzemských podmínkách. Úroda. Praha. ISSN: 0139-6013

KINCL D., PROCHÁZKOVÁ E., SRBEK J., NERUŠIL P., MENŠÍK L., 2017: Kukuřice bez eroze. Úroda, 3/2017. Praha. ISSN: 0139-6013

KOZLÍK V., MALIŠ O., ALENA F., 1961: Ochrana pôdy pred vodnou eróziou. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, Bratislava.

LHOTSKÝ J., 2000: Zhutňování půd a opatření proti němu. Ústav zemědělských a potravinářských. Praha. ISBN 80-7271-067-2.

LIU Q. J., WELLS R. R., DABNEY S. M., HE J. J., 2017: Effect of Water Potential and Void Ratio on Erodibility for Agricultural Soils. Soil Science Society of America Journal [online].

MENŠÍK L., KINCL D., NERUŠIL P., SRBEK J., KABELKA D., HEROUT M., JURKA M., ŠEDEK A., HORKÝ T., VACH M., 2018: Pěstování kukuřice seté půdoochrannými technologiemi. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., Praha. ISBN 978-80-7427-288-2.

MORGAN R. P. C., 2005: Soil erosion and conservation. Blackwell Publishing company, USA. ISBN 1-4051-1781-8.

NOVOTNÝ I., PAPAJ V., PODHRÁZKOVÁ J., KAPIČKA J., VOPRAVIL J., KRISTENOVÁ H., MISTR M., ŽÍŽALA D., KINCL D., SRBEK J., POCHOP M., DOSTÁL T., KRÁSA J., KADLEC V., 2017: Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, v. v. i., Praha. ISBN 978-80-87361-67-2.

OWENS, PHILIP N., COLLINS, ALISON J., 2006: Soil Erosion and Sediment Redistribution in River Catchments. Cabi. ISBN 10: 0851990509

PANAGOS P., MEUSBURGER K., BALLABIO C., BORRELLI P., ALEWELL CH., 2014: Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. Science of The Total Environment [online].

PASÁK V., 1984: Ochrana půdy před erozí. Praha: SZN Praha.

PODHRÁZSKÁ J., DUFKOVÁ J., 2005: Protierozní ochrana půdy. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. Brno ISBN 80-7157-856-8.

SKLENIČKA P., 2003: Základy krajinného plánování. Naděžda Skleničková, Praha. ISBN 80-903206-1-9.

ŠARAPATKA B., URBAN J., 2006: Ekologické zemědělství v praxi. 1. vyd. Šumperk: Svaz PRO-BIO. ISBN 978-80-903583-0-0

TOMAN F., 1995: Pozemkové úpravy. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. Brno ISBN 80-7157-148-8.

TRUMAN C.C., SHAW J.N., REEVES D.W., 2002: Mineralogy of eroded sediments derived from highly weathered soils. Soil Science. 168:209-217

VAVŘÍČEK D., KUČERA A., 2014: Lesnická pedologie pro posluchače LDF Mendelu v Brně. Brno.

VOPRAVIL J., KHEL T., VRABCOVÁ T., NOVÁK P., NOVOTNÝ I., HLADÍK J., VAŠKŮ Z., JACKO K., ROŽNOSVSKÝ J., JANEČEK M., VÁCHA R., PIVOVÁ J., KVÍTEK T., NOVÁK P., FUČÍK P., ČERMÁK P., JANKŮ J., PÍRKOVÁ I., PAPA J., BANÝROVÁ J., 2010: Půda a její hodnocení v ČR I. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha. ISBN 978-80-87361-05-4.

VOPRAVIL J., VRABCOVÁ T., KHEL T., NOVOTNÝ I., BANÝROVÁ J., 2010b: Vývoj a degradace půd v podmínkách očekávaných změn klimatu. In: **ROŽNOVSKÝ J., LITSCHMANN T (eds.):** Voda v krajině. Český hydrometeorologický ústav, Lednice. S. ISBN 978-80-86690-79-7.

VOPRAVIL J., NOVOTNÝ I., KHEL T., HLADÍK J., JACKO K., PAPAJ V., VAŠKŮ Z., VRABCOVÁ T., PÍRKOVÁ I., ROŽNOSVÝ J., HAVELKOVÁ L., NOVÁK P., VOLTR V., STŘEDA T., KOHOUTOVÁ L., PORUBA M., CZELIS R., HUML J., SEKANINA A., JANKŮ J., PENÍŽEK V., 2011: Půda a její hodnocení v ČR II. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Praha ISBN 978-80-87361-08-5.

VOPRAVIL J., KHEL T., HAVELKOVÁ L., BATYSTA M., 2013: Studie zabývající se základní problematikou eroze půdy a jejím současným stavem v Ústeckém a Jihomoravském kraji České republiky. SOWAC, s.r.o. Praha.

WISCHMEIER W. H., SMITH D. D., 1978: Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning. Washington: US Dept. Of Agriculture , Science and Education Administration.

ZACHAR D., 1970: Erózia pôdy. Slovenská akadémia vied, Cizí zdroje, Bratislava.

ZHU T., 2021: Watershed Erosion Processes. Springer Nature Switzerland AG. ISBN: 3030811506.

Internetové zdroje

AGROPRESS,©2021: Půdoochranné technologie zmírňují erozi půdy - Agropress.cz. - Agropress.cz (online). Copyright Agropress.cz [cit. 2022.02.18]. Dostupné z: <https://www.agropress.cz/pudoochrane-technologie-zmirnuji-erozi-pudy/>

MAPY.CZ,©2021:

<https://mapy.cz/zakladni?x=14.3655219&y=49.5366024&z=14&q=porešín&source=ward&id=8222&ds=2>

MŽP,©2015: Definice půdy (online), [cit 2022.02.21], dostupné z [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/\\$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf)

VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, v.v.i, 2021: eKatalog BPEJ. VÚMOP, cit. [2022.01.16], Online: <https://bpej.vumop.cz/>

VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, v.v.i, 2021: Eroze půdy (online), [cit 2022.01.19], dostupné z <https://www.vumop.cz/eroze-pudy>