

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY



**Návrh protierozního opatření v k. ú. Dolní Krupá, Horní
Krupá, Horní Bukovina a Horní Rokytá v kontextu
jejich ekonomického zhodnocení**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Diplomant: Bc. Miloslav Tůma

Praha 2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Miloslav Tůma

Regionální environmentální správa

Název práce

Návrh protierozního opatření v k. ú. Dolní Krupá, Horní Krupá, Horní Bukovina a Horní Rokytá v kontextu jejich ekonomického zhodnocení

Název anglicky

Proposal of erosion control measures in study areas of Dolní Krupá, Horní Krupá, Horní Bukovina and Horní Rokytá in a context of their economic evaluation

Cíle práce

Cílem diplomové práce je zpracování studie ohrožení katastrálních území Dolní Krupá, Horní Krupá, Horní Bukovina a Horní Rokytá vodní erozí. Na základě zjištěných informací budou navržena konvenční protierozní opatření. Hlavním cílem práce je ochrana orné půdy, navržení adekvátních proti-erozních opatření a vyčíslení finančních nákladů, které by bylo v rámci řešení nutno vynaložit.

Metodika

V rámci metodiky bude zpracována literární rešerše k danému tématu. Účinky eroze budou vyhodnoceny a analyzovány na vybrané lokalitě a datech s podporou softwaru ESRI ArcGIS Desktop v10.2 a dle rovnice USLE vyjadřující výsledky ztráty půdy. Proběhne ekonomické vyhodnocení a výběr nejvhodnější varianty ochrany půdy.

Doporučený rozsah práce

80 stran

Klíčová slova

Eroze, GIS, protierozní využití půdy, zemědělské plodiny

Doporučené zdroje informací

- JANEČEK M. (ed.) 2005: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Vyd. 2. Praha: ISV nakladatelství. 195 s. ISBN 80-86642-38-0.
- JANEČEK M. (ed.) 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Česká zemědělská univerzita. Praha. 113 s., ISBN 978-80-87415-42-9
- SKLENIČKA P. 2003: Základy krajinného plánování. Praha. 321 s., ISBN 80-9032-061-9.
- ŠARAPATKA B., DLAPA, P., BEDRNA, Z. 2002: Kvalita a degradace půdy, Univerzita Palackého, Olomouc, 246 s.
- VAŠKŮ Z. 2002: Hodnocení vodní eroze půdy v rámci podrobného pedologického průzkumu. In: Borůvka L., (ed): Pedologické dny 2002 (sborník konference). ČZÚ, Praha, s. 115-121
- VÚMOP 2015: Monitoring eroze zemědělské půdy – GAEC2. Online
- WISCHMEIER W. H, SMITH D. H. 1978: Prediction rainfall erosion losses. Maryland. Sla USDA Hyatsville.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 9. 6. 2017

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 11. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 16. 04. 2018

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Petra Skleničky, CSc. A zároveň konstatuji, že jsou v práci uvedené zdroje, ze kterých jsem čerpal

Praha 12. 4. 2018

.....

Poděkování:

Mé poděkování patří vedoucímu práce, panu prof. Ing. Petru Skleničkovi, CSc., za vedení mé práce, poskytnuté rady a velkou trpělivost. Mé díky patří všem, kteří mi poskytli potřebné informace, pomoc a radu při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům, kteří mi umožnili studium.

Abstrakt

Ve své diplomové práci jsem se zaměřil na ztrácející se kvalitu orné půdy, která je způsobena mnoha příčinami. Opakovaně jde o kombinaci vlivů lidské činnosti a také přírodních procesů. Má práce se zaměřuje především na proces vodní eroze, díky které dochází k velké degradaci monitorované půdy. K vytvoření studie jsem použil volně dostupná data a USLE (Wishmeier, Smith 1978). Plochy orné půdy, které jsem monitoroval se nachází v katastrálních území obcí Dolní Krupá, Horní Krupá, Horní Bukovina a Horní Rokytá. Pro lepší orientaci jsou zemědělské plochy rozděleny do půdních bloků.

Součástí této práce je vyhodnocení vodní eroze a návrhy případných řešení, které budou spočívat v provedení nenáročných opatření. Tyto opatření budou schopni aplikovat zemědělci v lokalitě. Ve většině případů se bude jednat o organizační a agrotechnické metody. Hlavním cílem práce je ochránit ornou půdu a zároveň navrhnout ekonomicky vhodná řešení, které bude v možnostech zemědělců.

Klíčová slova

eroze

GIS

protierozní využití půdy

zemědělské plodiny

Abstract

In my diploma thesis I focused on the loss of quality of arable land, which is caused by many causes. It is a combination of the effects of human activity and natural processes. My work focuses mainly on the process of water erosion, which leads to a large degradation of monitored soil. To create a study I used freely available data and USLE (Wishmeier, Smith 1978). The areas of arable land I have monitored are located in the cadastral areas of the municipalities of Dolní Krupá, Horní Krupá, Horní Bukovina and Horní Rokytá. For better orientation, agricultural areas are divided into soil blocks.

The part of this work is the evaluation of water erosion and suggestions of possible solutions, which will consist in the implementation of undemanding measures. These measures will be able to apply to farmers in the area. In most cases these will be organizational and agrotechnical methods. The main aim of the thesis is to protect the arable land and at the same time to propose economically suitable solutions, which will be in the possibilities of the farmers.

KEY WORDS

erosion

GIS

anti-erosion precautions

agricultural crops

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce	2
3	Literární rešerše.....	3
3.1	Půda – základní členění a charakteristika.....	3
3.2	BPEJ – popis a definice.....	3
3.3	Eroze.....	5
3.4	Vodní eroze	8
3.5	Ochrana proti vodní erozi.....	10
	3.5.1 Organizační protierozní opatření.....	11
	3.5.2 Agrotechnické protierozní opatření.....	15
	3.5.3 Technické protierozní opatření.....	18
4	Metodika.....	35
4.1	Popis zájmového území.....	35
	4.1.1 Klimatické poměry.....	37
	4.1.2 Hydrogeologické poměry.....	37
	4.1.3 Geologické poměry.....	38
	4.1.4 Zemědělská půda v zájmovém území.....	39
4.2	Použitá data.....	41
4.3	Určení faktorů rovnice USLE.....	42
	4.3.1 K - faktor erodovatelnosti půdy.....	42
	4.3.2 C - faktor ochranného vlivu vegetace.....	42

4.3.3 R - faktor erozní účinnosti deště a povrchového odtoku.....	42
4.3.4 LS - faktor délky a sklonu svahu.....	42
4.3.5 P - faktor účinnosti protierozního opatření.....	43
5 Výsledky.....	43
5.1 Působení vodní eroze na zemědělských plochách v k. ú. Horní Bukovina.....	44
5.2 Působení vodní eroze na zemědělských plochách v k. ú. Horní Krupá a Dolní Krupá	53
5.3 Působení vodní eroze na zemědělských plochách v k. ú. Horní Rokytá.....	55
6 Diskuze.....	65
7 Závěr.....	66
8 Literatura	67

1 Úvod

Eroze půdy je ve světě mnoho tisíc let. Již v minulosti obyvatelé této planety zjistili, že eroze je problém, který nesmí podceňovat a podnikali různá opatření, díky kterým chtěli tento proces co nejvíce ovlivnit. Nejčastěji se snažili, výstavbou účelových objektů, plnit ochrannou funkci před účinky vodní eroze.

Například v Jižní Americe se v minulosti budovali systémy teras. Právě tento systém měl významný protierozní účinek u strmých svahů, kde tyto zaniklé civilizace hospodařily. Poměrně často bývalo zvykem, že činnost člověka spíše napomáhala erozi expandovat a zároveň celý proces značně urychlit. Jedním z příkladů urychlení eroze v Americe bylo, když se započala kolonizace Severní Ameriky evropskými přistěhovalci. Značnou mírou pomohlo k expandování eroze kácení dřevin v raných fázích kolonizace, které sloužilo pro stavební účely. Plochy, které byly odlesněny, pak sloužily k prostorám pro plantáže bavlny a tabáku. Materiál z odtěžených ploch se postupně dostával do potoků a řek, které nebyly schopné odnést všechn tento materiál až do oceánů. Právě toto chování člověka, v průběhu tohoto období zrychlilo erozi půdy až čtyřicetkrát (Dylan Rood, 2015).

V minulosti byla eroze nazývána různými termíny. Právě termín „eroze půdy“ ve smyslu, jak ho používáme dnes, byl prvně použit v práci W. J. McGee v roce 1911. Později kolem roku 1939 popis tohoto procesu upravil H. H. Bennet (Janeček a kol., 2012).

Problémy s erozí, které jsou v České republice, se nedají porovnávat se stejnými problémy v Africe a Asii. U nás v České republice je nejčastější vodní eroze, která je v nižší i vyšší míře zastoupena po celé republice, nejvíce na jižní Moravě. Dále je v České republice častá větrná eroze, ale ta se vyskytuje nejvíce například v Polabí.

V současné době máme k dispozici celou řadu prostředků, které nám pomáhají erozi mírnit. Nejčastěji se jedná o: počítačovou techniku a software, matematické modely k určování a predikci erozních jevů a družicové snímkování. Letité zkušenosti a moderní technologie jsou velkým přínosem v boji proti erozi. Právě díky těmto metodám a pomůckám, jsme schopni erozi ovlivnit nebo zpomalit. Bohužel ji jako celek nikdy nevyřešíme, protože je to nekončící přírodní koloběh, který bude světovým problémem i pro příští generace lidí.

2 Cíle práce

Cílem této práce je vytvoření studie ohrožení pro katastrální území (dále jen k. ú.) Dolní Krupá, Horní Krupá, Horní Bukovina a Horní Rokytá vlivem vodní eroze. Po vyhodnocení informací budou navržena konvenční protierozní opatření, která budou schopni aplikovat uživatelé půdního fondu v rámci finančních nákladů. Prioritní myšlenka práce je ochrana orné půdy, navržení vhodných opatření a zároveň i vyčíslení finančních nákladů, které by bylo potřeba vynaložit na již zmíněná opatření.

3 Literární rešerše

3.1 Půda – základní členění a charakteristika

Půda je jedním z hlavních přírodních zdrojů, které lze definovat jako sypký, převážně hrubý materiál. Tento materiál vzniká mechanickým a také často chemickým zvětrávání horninového podloží (Petránek a Synek 2007). Úrodnost půdy určuje podíl organických látek a příměsí, které obsahuje naakumulovaný zvětralý materiál. Tyto organické látky tvoří kombinace půdních mikroorganismů a odumřelé části těl živočichů a také rostlin (Weber, 2001). Především je nutné konstatovat, že pro člověka je půda důležitou složkou pro život. Našli bychom nespočet důvodů a definic, které budou vysvětlovat její důležitost a konstatovat její jedinečnost. Pokud bychom se na půdu chtěli podívat z chemicko-biologického hlediska, tak můžeme konstatovat, že pro člověka a živé organismy je tzv. skladem živin, jelikož v jejích složkách jsou obsaženy např. dusík, draslík, fosfor a další.

Klíčovým aspektem pro správnou klasifikaci půd je přesné určení jednotlivých horizontů půdního profilu (Sklenička 2003). V obecné rovině lze půdní profil rozdělit dle vrstev:

- Eluviální horizont
- Iluviální horizont
- Horizont v podobě matečních hornin
- Mateční nedotčené horniny

Eluviální horizont je první vrstvou a je v něm velká koncentrace organických látek a humusu. Spodní části této vrstvy nejsou obohaceny o hodnoty kaloidů a humusu. Iluviační horizont je v mnoha případech jílovitý a obohacený o sloučeniny hliníku (Al), železa (Fe) a křemíku (Si). Poslední vrstvy, mateční horniny se vlivem zvětrávání rozpadají (Petránek a Synek 2007).

3.2 BPEJ – popis a definice

BPEJ je zkratka pro bonitovou půdně ekologickou jednotku. Tato jednotka je vyjádřena pětímístným číslem hlavní půdní jednotky a klimatické charakteristiky. První číslice vyjadřuje příslušnost ke klimatickému regionu. Dále číslice druhá a třetí určují zařazení půdy do hlavní půdní jednotky klasifikační soustavy (HPJ). Čtvrtá číslice stanovuje stupeň sklonitosti a příslušnou expozici ke světovým stranám ve vzájemné kombinaci. Pátá číslice vyjadřuje hloubku půdy a skeletovitost půdního profilu ve vzájemné kombinaci.

Níže uvádím příklad kódu:

0.62.00

0 = klimatický region

62 = hlavní půdní jednotka

0 = sklon a expozice ke světovým stranám

0 = skeletovitost a hloubka půdy

3. 2. 1 Klimatický region

Počáteční číslo z BPEJ kódu vyjadřuje klimatický region, kam spadá dotčené území. Jedná se o území, které má téměř shodné klimatické podmínky pro vývoj zemědělských plodin. Česká republika má v současné době deset klimatických regionů. U zemědělských ploch je řadíme od 0 – 5, jelikož jsou sušším a teplejším klimatem. Chladnější a vlhčí regiony jsou od 6 – 9.

3. 2. 2 Hlavní půdní jednotka

Stávající soustava BPEJ je tvořena ze 78 (01 – 78) druhů hlavních půdních jednotek. Z těchto jednotek dále členíme 13 kategorií, které mají určitou podobnost.

3. 2. 3 Sklonitost a expozice

Právě tyto faktory ovlivňují krajinu v mnohém. Sklon terénu ovlivňuje především erozi půdy a množství vláhy obsažené v půdě. S narůstajícím sklonem, narůstá i povrchový odtok a zároveň klesá množství vláhy. Naopak s klesajícím sklonem roste množství vláhy, které je přítomné v půdě. Umístění pozemku v rámci světových stran také ovlivňuje chování půdy. Pozemek umístěný k severu je více chladný než pozemek umístěný na jih. Sklonitost a expozice je klasifikována do devíti kategorií (0-9).

3.2.4 Skeletovitost a hloubka půdy

Poslední číslovka BPEJ označuje průnik vlastností území v rovině skeletovitosti a hloubky půdy. Šterkovitost a kamenitost půdy daného území je dána skeletovitostí. Tímto údajem je ovlivněna např. vodní kapacita, náchylnost k erozi nebo objemová hmotnost. Mocnost půdního profilu definujeme pomocí hloubky půdy.

3.3 Eroze

Erozi lze definovat, jako souhrn přirozených procesů, které mají za důsledek narušování půdy, transport a následné usazení sedimentů v podobě pevných částic. Tento soubor procesů je z velké části urychlen nevyhovujícími zásahy ze strany člověka (Sklenička 2003).

Další definice eroze jsou publikovány jako přirozený proces, v rámci kterého dochází vlivem působení vody k rozrušení půdy (Janeček a kol. 2008) vlivem větru, ledu, vody aj. V dalších publikacích nalezneme, že jednou z hlavních příčin eroze je antropogenní, strojová eroze. Právě strojová eroze může mít za důsledek transport půdy, když se při práci strojů, zachycená půda odveze mimo území (Takken et al., 2001).

Slovo „eroze“ je odvozeno z latinského slova „erodeze“. Překlad slova erodeze má význam rozhlodávání. Tento pojem můžeme pochopit jako proces, při kterém dochází k narušení litosféry (pedosféry), vlivem pohybující se erogenní hmoty. Důsledky eroze jsou degradace zemského povrchu, ale i zvýšení počtu usazené hmoty na povrchu země (Janeček a kol. 2002).

Příčinou eroze je několik faktorů, pro které není možné stanovit jednoduchý a platný řád, ve kterém by byly tyto procesy zakomponovány (Wischmeier, Smith 1978). O erozi můžeme dále říci, že se řadí mezi procesy geodynamické. A právě tyto procesy ovlivňují především vývoj horninového podloží a celého zemského povrchu. Častou příčinou narušení horninového podloží je rušivá činnost vody, která má podobu dešťového ronů (v semiaridním a aridním klimatu) na svahu.

3. 3. 1 Erozní faktory

Hlavní erozní faktory jsou voda, vítr, led (ledovce), rostliny, sníh, člověk a zvířata (Zachar 1982).

Kvalita půdy je ovlivněna především lidskou činností, která zahrnuje špatné pracovní postupy a metody práce s půdou. Současní i minulý pracovníci v zemědělství nejsou a nebyli schopni postupovat podle metod, které se snaží předcházet rizikům eroze. Tento důsledek má příčinu v ekonomické stránce věci. Pakliže jsou některé nové metody ekonomicky výhodnější, tak se snaží pracovat efektivněji (Toy 2001).

Hlavní příčiny, které mají podíl na rozsáhlosti a struktuře eroze jsou:

- Geologický činitel
- Morfologický činitel
- Činitel využití půdy
- Klimatická a hydrologická činidla

Umístění vzhledem k nadmořské výšce a zeměpisné poloze určuje možnou intenzitu dešťových srážek. Dále toto umístění ovlivňuje teplotu vzduchu a větrné podmínky ve vztahu k půdě na tomto území. Od těchto vlastností, které působí na půdu, odvozujeme tvar a parametry terénu. Tyto údaje (délka, tvar a sklon svahu) jsou důležité pro analýzu erozního ohrožení území. Základem všeho je geologická struktura podloží, od které se odvíjejí vlastnosti, kvalita a pevnost nadloží. Vlastnosti, kvalita a pevnost jsou určeny počtem minerálů, které půda obsahuje. Často jsou erozi postižena místa, která ovlivňuje nebo přímo ovlivnila lidská činnost, jako např. zemědělské plochy. Je možné erozi (ve vztahu k podmínkám) u těchto pozemků snížit a to vhodným způsobem obhospodařování (Janeček a kol. 2002).

3. 3. 2 Erozní následky v krajině

Hlavními a nejdůležitějšími následky vodní eroze půdy jsou ztráta materiálu z území, transport a usazování půdních elementů a chemických látek (Holý 1994). Při procesu eroze jsou spolu s půdními částicemi transportovány i velké množství živin (fosfor, dusík aj.). Smíchání povrchové vody a živin v podobě dusíku a fosforu vede k nárůstu biomasy v daném území. Následkem toho dochází k obohacování vody o živiny a to vede k tvorbě vodních květů a zmenšování velikosti profilu vodních toků a nádrží (Schneider 2013).

Hlavní faktory, které způsobují částečné nebo maximální (kritické) odnosy půdy, jejichž následkem je snížení úrodnosti půdy, jsou:

- Eroze (větrná a vodní)
- Salinizace
- Ztráta živin
- Desertifikace
- Poškozená půdní struktura
- Těžba

Odnos ornice, která je výsledkem selektivního působení vodní eroze, má za následek snížení obsahu humusu a zmenšení mocnosti orníční vrstvy v půdě. Konečným důsledkem těchto jevů jsou nabourání vodního režimu dané půdy a její neúrodnost (Janeček a kol. 2007). Nejprve se transportují nejlehčí půdní části a následně přichází půda o organické složky, možnost vázat živiny, vyrovnávat pH a schopnost sorpční kapacity. V průběhu eroze s nízkou intenzitou dochází ke ztrátě půdních částic a následně k oslabení textury a struktury půdy. V opačném případě, kdy je intenzita vodní eroze vysoká, dochází ke smytí vrchní části horizontu. U nízké úrovni horizontu, pro který platí, že jej charakterizuje menší obsah organické hmoty a nižší propustnost, odebírá dalším vrstvám v půdním profilu potřebnou vláhu (EROZE.SWEB, 2006).

Tvorba mocnosti půdy je dlouhodobý proces. Šarapatka 2010 uvádí, že tvorba centimetru půdy je rovna něco mezi jedné až pěti generacím lidského života (100 – 400 let). To znamená, že v průběhu historie lidských dějin se půda prakticky neobnovuje. Avšak v dnešní době se už snažíme aplikovat postupy, které půdu optimálně chrání. V průběhu působení eroze dochází k znehodnocení půdy, což má za následek snížení produkčních schopností půdy. Tomuto znehodnocení se nelze zcela bránit, jelikož když tento proces nastane a půda se znehodnotí, tak její obnovení je značně časově a ekonomicky náročné. Právě proto jsme zavedli postupy jak předejít tomuto znehodnocení a průběžně mu zabráňovat (Janeček a kol., 2008).

3. 3. 3 Eroze a člověk v historii

Historicky se dříve půda vyvíjela přirozeně. S příchodem člověka se začala vyvíjet odlišným způsobem. Důležité zásahy do vývoje půdy působením lidí proběhly v době kamenné a období pozdního bronzu. Tato eroze byla způsobena častým odlesňováním velkých plošných celků. Následek těchto lidských činností přišel mezi 5. až 9. stoletím našeho letopočtu, když se značně ochladilo a zvlhčilo klima. Dále se začaly posouvat alpské ledovce a začala se rozvíjet eroze půdy pod vlivem proudící vody (Stehlík, 1981). V rámci zemědělství došlo k technickému posunu, v podobě vynálezu modifikovaného těžkého pluhu (Low a Michal, 2003). V průběhu 13. a 14. století dále pokračuje působení alpských ledovců. Současně s tím dochází k extrémním změnám v systému zemědělské výroby na celém území střední a západní Evropy. Jedním z nejvýznamnějších období projevu eroze je 1. pol. 17. století. Vlivem válek dochází k utlumení zemědělské výroby, která přetrvávala až do konce 18.

století. Právě toto celé období bylo postiženo erozí, ale její projevy nejsou vážné. Avšak v průběhu následujících let mezi roky 1750 až 1850 docházelo ke zvýšení eroze. Příčinou zvýšení eroze bylo patrně postupné rozorání pastvin a úhoru, spojené s přechodem do trojhorné soustavy ke střídání pěstování plodin (Stehlík, 1981). V rámci střídavého hospodaření se na polích střídaly nejméně 4 plodiny, ale ani jedna z nich nebyla v nadcházejícím roku seta na stejném poli (Low a Míchal, 2003).

Síla rozvoje plošného smyvu a stružkové eroze byla koncem 19. století a začátkem 20. století do značné míry zastavena, jelikož byla v této době častá rozmanitost pěstovaných plodin. V rámci protierozních opatření docházelo k zalesňování a zpevnění strží. Na konci 19. a první poloviny 20. století se začaly postupně omezovat projevy půdní eroze (Stehlík, 1981).

3.4 Vodní eroze

Základním projevem vodní eroze na povrchu půdy je selekce půdních částí s následným vznikem odtokových drah různých rozměrů. Můžeme je rozdělit podle velikosti na rýžky, rýhy, výmoly a v místech, kde je velká koncentrace odtoků vznikají strže. Příčinou vodní eroze je destrukční činnost dešťových kapek, povrchový odtok a tající sníh. Míra intenzity eroze je přímo spojená s povrchovým odtokem, půdními poměry, vegetačními poměry, povrchovém odtoku a způsobem využití pozemků na základě používaných agrotechnologií (Janeček a kol., 2008).

Z fyzikálního hlediska lze popsat působení vodních srážek na povrch, tak že kinetickou energií dopadajících kapek dochází k povrchovému odtoku půdních částí. Hromadící kinetická energie vodních srážek má za následek narušení terénu. Smytý materiál se téměř vždy začne hromadit a ukládat v patách svahů, nádrží nebo vodních toků (Holý, 1994).

Obecná definice vzniku eroze a transportování sedimentů, jako oddělení částic půdního povrchu, na kterém se nacházejí kanály a rýhy, je popsána autory Neitsch a Arnold (2009). Dále popisují, že jsou částice půdy vlivem dešťových kapek přesunuty do nejbližších rýh a kanálů a poté se pomocí povrchového odtoku dostávají do větších odtokových drah, až se dostanou do trvale tekoucí vodní plochy.

V případě odnosu půdních částic, můžeme vodní erozi dělit na normální a zrychlenou. Intenzita vodní eroze je ovlivněna regenerací půdního profilu, pokud jsou půdní části

odnášeny rychleji než je doba regenerace půdy, pak můžeme hovořit o zrychlené vodní erozi (Neitsh a Arnold, 2009).

Mezi základní rozdělení vodní eroze, podle účinků na půdní profil patří:

1. **vodní eroze výmolová** – můžeme jí definovat, jako prohlubující se zářezy v půdním profilu
2. **vodní eroze proudová** – především se jedná o vodní plochy, kde jsou narušeny koryta, boky a dno (např. říční toky aj.)
3. **vodní eroze plošná** – jedná se o smývání půdního profilu po celé ploše pozemku

V případě zrychlené vodní eroze se obnažují spodní horizonty. Pokud se rychlost unášení půdního materiálu snižuje, pak vznikají v oblastech úpatí svahů, vlivem ukládání erudovaného materiálu, nové typy půd – koluvium (Vašků, 2002).

3. 4. 1 Rozdělení vodní eroze z hlediska účinků na půdní profil

Vodní eroze výmolová

Definice výmolové vodní eroze by mohla být popsána, jako postupně prohlubující se zářezy v půdním profilu, které se časem více prohlubují. Výsledkem toho jsou tvorby rýh v půdním profilu. Holý (1978) popsal podrobně jednotlivé stádia výmolové eroze následovně:

1. **Rýžková eroze** – na půdním povrchu vznikají sítě prasklin, které plošně ve svahu tvoří hustou síť prasklin.
2. **Brázdová eroze** – vznik širokých mělkých zářezů, které nemají takovou hustotu jako u rýžkové eroze.

Z těchto dvou typů eroze, při jejich pokračování a povrchově stékající vodě, vznikají hlubší rýhy, které se ve svahu spojují a následně rozšiřují.

Vodní eroze proudová

Tento druh vodní eroze se projevuje především ve vodních tocích, jako reakce na působení vodních proudů a v závislosti na intenzitě vody, rychlosti vody a stavu koryta. V případě narušování dna se jedná o erozi dnovou, pokud je předmětem eroze pouze břeh, tak se jedná o

erozi břehovou. Nejčastěji nalezneme proudovou erozi v bystřinách, kde se nenachází velké množství splavenin kvůli rychlosti (Holý, 1994).

Vodní eroze plošná

U plošné vodní eroze dochází ke smývání půdního profilu odtokem, především se jedná o odnos zemitých částí v tenké vrstvě z celého půdního povrchu v daném území (Cablík a Jůva, 1963). Plošná eroze se vyznačuje selektivním chováním, protože postihuje pouze určitou část půdního povrchu v daném území tj. nejjemnější zemní částice (Pasák a kol. 1984). Především se jedná o plochy, které jsou solně vyschlé, půdy, na kterých jsou nejvýrazněji vidět projevy plošné eroze. V průběhu intenzivních dešťů, dochází k narušení povrchové části, protože v důsledku dopadání srážkových kapek na suchý povrch dojde k tříštění vyschlého povrchu, který je v podstatě nechráněný. Důsledkem je suchá, provzdušněná a nesnadno zvlhčující půda. Důvodem je intenzivní působení vody, která zrychluje plošný ron, odnášející s sebou již zmíněné jemné částice půdního povrchu (orniční vrstva). V průběhu plošné vodní eroze půdy, na celé své ploše nebo na určité části pozemku, je půda rovnoměrně erodovaná. Plošná eroze lze jen těžko oddělit od rýhové eroze, protože vezmeme-li v úvahu, že plocha svahu bude téměř v rovině, tak to povede ke snížení podmínek pro směřování vody a erodovaného materiálu do odtokových rýh (Janeček a kol. 2002).

3.5 Ochrana proti vodní erozi

Ochrana proti erozi je všeobecně chápána jako soubor komplexních řešení, které jsou vzájemně propojeny a zkombinovány. V závislosti na dané podmínky v řešeném území. Ve většině případů jde o zadržení dešťové vody a zpomalení povrchového odtoku, nebo jeho transformaci na podpovrchový odtok (Janeček a kol. 2012). Tyto postupy je nutné aplikovat v závislosti na požadavky zemědělské výroby v daném území. Téměř všechny průzkumy a výzkumy do současné doby potvrdili, že protierozní ochrana musí být řešena v rámci hydrologických celků – povodí (Toman 1996).

Plodina	Smyv půdy [%]
Cukrovka, kukuřice, brambory	60
Jarní obilovina	24
Ozimá obilovina	18
Vojtěška, jetel	2
Louka	0,5

Tab. 1: Smyv půdy v porovnání s holým povrchem půdy (Kvítek, Tipl, 2003)

Protierozní opatření lze rozdělit na:

1. **organizační** – určíme vhodné umístění pěstovaných plodin, můžeme zvolit pásové pěstování plodin nebo návrhy vegetačních pásů mezi pozemky.
2. **agrotechnické a vegetační** – jedná se o půdoochranné obdělávání půdy, kdy se zanechává větší množství rostlinné hmoty na povrchu nebo mělce zapravené pod povrch. Další z možností je pěstování plodin bez zpracování půdy (zakládání porostů přímým setím), především širokořádkových plodin. Tyto plodiny jsou např. kukuřice, slunečnice nebo cukrová řepa (Tippl et al., 2001).
3. **technické** – do technických opatření lze zařadit např. průlehy, terasy, protierozní nádrže nebo příkopy aj.

3.5.1 Organizační protierozní opatření

Organizační protierozní opatření řeší především ochranu proti plošné erozi. Základním prvkem této ochrany je správné navržení pozemků a jeho situování vůči terénu, jako např. delší stranou ve směru vrstevnic, tvar pozemku, vhodnou velikost aj. Tyto protierozní opatření se navrhuje současně s ostatními protierozními metodami a v součinnosti s hospodářskými subjekty. Organizační protierozní opatření lze rozdělit na návrh optimálního tvaru a velikosti půdního bloku, návrh vhodného umístění pěstovaných plodin a návrh pásového pěstování plodin. Dále pak můžeme říci, že mezi obecné organizační metody řadíme např. ochranné zatravnění a zalesnění, rozmístění plodin nebo delimitaci pozemků a prostorové uspořádání pozemků (Janeček a kol. 2005).

Ochranné zatravnění a zalesnění nebo delimitace pozemků

Jedná se o faktor ochranného vlivu na vegetační pokryv. Prostorová a funkční optimalizace pozemků, která slouží k pěstování jednotlivých kultur, tak bychom mohli definovat delimitaci pozemků. Mezi tyto metody můžeme počítat i členění zemědělských ploch na zahrady, louky, ornou půdu, pastviny, vinice, chmelnice a sady (Janeček, 2012).

Pod pojem trvalý travní porost můžeme řadit:

1. Pozemky nad výškovou hranicí pěstování polních plodin
2. Údolnice, které z pozemků odvádějí vodu – soustředěný povrchový odtok

3. Pozemky, které jsou v rovině svažitosti, ale nelze je orat, jelikož se na nich nacházejí vysoko podzemní vody nebo terénní překážky
4. Pozemky vylučující orbu – u svažitosti 25 – 50%
5. Zalesnění by mělo být na pozemcích se sklonem vyšším než 50%

Od roku 1989 rapidně vzrostla (o 12%) výměra pozemků evidovaných jako trvalý travní porost. V současné době je právě trvalý travní porost druhou nejpoužívanější kulturou hned po obilninách. Jedná se o 25% zemědělsky využívaných ploch (Fiala 1999). Důvodem nárůstu je nepochybně možnost snadného čerpání z dotačních programů a dalších podpor z EU k hospodaření na těchto pozemcích (Vrablíková a Seják, 2007). V podmínkách střední Evropy je trvalý travní porost významným stabilizačním a konzervačním prvkem v krajině (Honsová 2006). Z hlediska botaniky je skladba travního porostu časově nestabilní, citlivá na měnící se krajinné podmínky (Čermák, 1999). V rámci měnící se charakteristiky kvality travního porostu je potřeba aplikovat tři metody udržování – pastvu, sečení a mulčování (Mládek, 2006).

Položka	Částka (Kč/ha)
Ztráta produkce z orné půdy	11757
Příjem z produkce trávy	3483
Příjem z produkce trávy (přepočet na 4 roky)	2786
Celkem ztráta (snižena o příjmy z travního porostu)	8971
Založení porostu	2779
Osivo	3862
Náklady na zatravnění (Kavka, 2006 - upravené na inflaci)	6641
Náklady na zatravnění na rok	1328
Dosev (přepočet na rok závazku)	332
Roční náklad upravený na příjmy z travního porostu	10631

Tab. 2: Výpočet ztráty příjmů a nákladů na zatravnění pro 5ti leté období na adaptaci podniku, s komerčním využitím travních porostů (ÚZEI, 2008-2011, Poláčková a kol., 2010)

Rozmístění plodin v rámci protierozních opatření

Při rozmístění plodin v rámci protierozních opatření je nutné dodržet správné zásady pěstování širokořádkových plodin. Při protierozním rozmístění plodin počítáme se sklonem pozemku a vhodných umístění vhodných plodin (Fulajtár a Jánský, 2001).

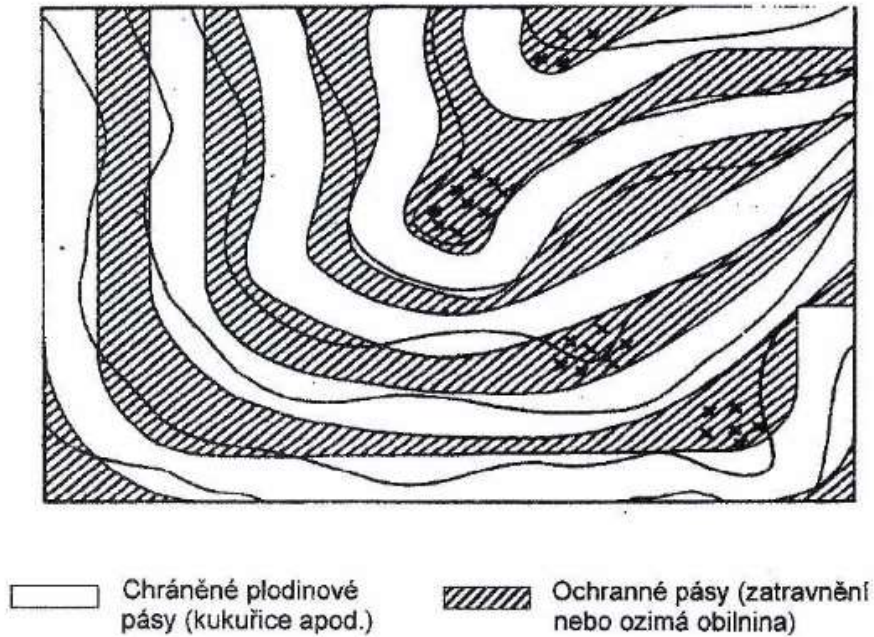
sklon (%)	sklon (°)	vhodné plodiny
do 5	do 3	širokořádkové (délka svahů nad 300 m – PEO agrotechnika)
do 12	do 7	obilovina, řepka, len, okopaniny (PEO technologie), ochrana drah soustředěného odtoku
do 21	do 12	úzkorořádkové plodiny, minimální kultivace, speciální osevní postupy
nad 21	nad 12	ochranné zatravnění
nad 30	nad 17	ochranné zalesnění

Tab. 3: Pravidla protierozního rozmístění plodin (Kavka, Dostál, 2011)

Prostorové uspořádání pozemků

Ochrana proti erozi v rámci prostorového uspořádání pozemků spočívá především v tom, aby rozměry pozemků orné půdy ve směru sklonu nepřevyšovaly přípustnou délku, která se stanoví na základě výpočtů ztráty půdy erozí. Jedná se o spojení dvou zcela odlišných faktorů tj. ekonomického a přírodního, právě proto je velice obtížné toto zajistit v reálu (Janeček a kol., 2008). Právě tyto opatření jsou využity při komplexních pozemkových úpravách, i když toto není předmětem této práce, rozhodl jsem se vyjmenovat aspekty. Návrh nových rozměrů pozemků je nejdůležitější částí pozemkových úprav, protože při jejich návrzích je nutné počítat s mechanizační dostupností, expozici ke světovým stranám, homogenosti atd. (Doležal a kol. 2010).

Ideální pro protierozní ochranu je vznik malých pozemků, ale v současné době jsou v České republice spíše velké pozemky, které mají často i nepravidelné tvary. Tento problém by se mohl teoreticky vyřešit, když by se uplatňovala nová vlastnická práva (Toman, 1996). Všeobecně je doporučeno vytvářet pozemky o maximální velikosti 50 ha v rovině, když se jedná o svažitéjší území, tak se doporučují výměry do 20 ha (Janeček, 2008).



Obr. 1: Schéma pásového střídání plodin (Janeček a kol., 2008)

Pásové rozmístění plodin (obr. 1)

Jedná se o velice účinné protierozní opatření, které je často několikanásobně účinnější než vrstevnicové obdělávání. U vrstevnicového obdělávání jsou plodiny rozmístěny v pruzích kolem vrstevnic, ale při polním pásovém hospodaření mají pásy jednotný rozměr, který je umístěn příčně se sklonem a je zakřiven podél vrstevnic (Toman, 1996). V případě rozměrů pásu počítáme s několika faktory, které určují potřebné rozměry. Především se jedná o sklon a délka svahu, náchylnosti půdy k erozi, šířka záběru zemědělských strojů a propustnosti půdy. Následně zjistím počet pasů, který je závislý na délce daného svahu, kterou můžeme přerušovat příkopy nebo průlehy. Nejčastější šířka pasů je mezi 20 až 40 m (Janeček a kol., 2008).



Obr. 2: Pásové střídání plodin (Cablík, Jůva , 1963)

3.5.2 Agrotechnické protierozní opatření

Jedná se o opatření, které se používají ke zlepšení protierozní odolnosti, zlepšení vsakovacích vlastností daného území. Celkově tyto opatření zajišťují udržení života v půdě a udržení optimální míry humusu v jejím agregátu. V rámci těchto opatření jsou použity širokořádkové plodiny např. brambory, kukuřice, cukrová řepa aj. Nejčastěji jsou vystaveny erozi půdy bez vegetačního pokryvu, proto jsou agrotechnické protierozní opatření založené na minimalizaci doby, kdy je půda bez vegetačního pokryvu (Janeček a kol., 2002).

Tyto agrotechnické opatření mají znemožnit nahromadění srážkových vod, oslabit škodlivý účinek dešťů a vytvořit ideální podmínky, aby se srážková voda využila v rámci zemědělské a lesnické výroby. Hlavním cílem těchto opatření je zpevnění půdních agregátů, zjednodušení kořenům rostlin, aby pronikly hluboko do půdy, udržovat trvalé propojení půdních agregátů a předejít možnosti vzniku mokřadů nebo prachové struktury (Kozlík a kol., 1961).

Ochranná opatření tohoto typu nejsou finančně náročná, ve srovnání s ostatními protierozními opatřeními. Nejnáročnější na tomto opatření je využití techniky (Karlík, 1961). Avšak volba opatření je různorodá, jelikož je důležité jí posuzovat individuálně k danému území.

Nejvíce trpící jsou plodiny bez rostlinného krytu, právě proto protierozní techniky kladou důraz, aby vegetační kryt půdy byl rostlý, jak nejdéle to jen jde (Janeček a kol., 2002).

Mezi půdoochranné technologie, dle **Dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy** (DZES) při pěstování nejčastěji okopanin patří:

1. přerušovací pásy

Jedná se o pásy jiných než erozně nebezpečných plodin. Jsou založeny tak, že protíná všechny odtokové linie v daném území. Řešíme je dle míry sklonitosti půdy např. 3 – 5° a 5 a více ° max do 300 m (proti směru odtokové linie). Minimální požadovaná šíře pásů je 12 m.

2. zasakovací pásy

Současně se zatravněnými údolnicemi vytvářejí soubor účinných liniových prvků. Tato opatření jsou běžně finančně nenáročná. Dají se rozdělit na lesní, travní a křovinné. Nejčastěji jsou umístěny ve svazích, podél vrstevnic, v místech střídání plodin. Dále jsou budovány u vodních nádrží nebo vodotečí, kde mají zabránit smyvu. Účinnost těchto pásů je odvozena od charakteru půdy, krytu, sklonu svahu, vlhkosti půdy, intenzitě přívalových dešťů a šířce pasu (Podhrázská, Dufková, 2005)

3. osetí souvratí

Jedná se o důsledek, který vznikl kvůli pohybu techniky a dopravních prostředků při polních pracích. Především je nutné se zaměřit na odstranění zhutňování půdy, protože právě tato orná půda je nejvíce zhutňována. Dalšími negativními příčinami jsou chlor a sodík, které pronikají do půdy při plnění postřikovačů herbicidními přípravky. V rámci velkého zhutnění půdy dochází k snížení infiltrace vody. Toto opatření je vhodné propojit s běžným hospodařením na půdě (Javůrek, Vach, 2008)

4. hrázkování

Jedná se o postup, kdy se vytvářejí drobné deprese, které jsou schopny zadržet dešťové srážky. Obecně bychom mohli tuto funkci definovat, jako zvýšení doby zadržení vody v půdě, kdy se snižuje intenzita povrchového odtoku. Tento postup je realizován pomocí hrázkovače. V případě správně provedeného hrázkování bychom měli být schopni zadržet srážky o úhrnu 25 až 35 mm a sklon pozemku 2 – 8% (Janeček, 2008).

5. důlkování a jamkování

Proces důlkování je založen na podobném principu, jako proces hrázkování. Tento proces se nejčastěji využívá při pěstování kukuřice (MZE, 2011). Janeček (2012) uvádí, že tento proces je možné využít i u brambor.

Velice efektivním protierozním opatřením vůči vodní erozi je jamkování. Chomaničová (1988) uvádí, že vytvořený systém jamek nám zaručuje snížení smyvu půdy až o 50%, jelikož je zpomalen povrchový odtok.



Obr. 3: Důlkovač (Janeček a kol., 2008)

6. mulčování (slámou)

Jedná se o zlepšení vlhkostního režimu lehkých půd. Většinou je aplikováno po obilní předplodině. Můžeme jej považovat za prevenci proti zaplevelení půdy, jelikož působí negativně na klíčivost plevelů. Důležité je především rovnoměrné mulčování posklizňového materiálu po povrchu, jelikož se v jarním období následně aplikuje kvalitní statkové hnojivo s minerálním dusíkem, dle použitého množství slámy. Tento proces šetří výrobní náklady o 10%.

3.5.3 Technické protierozní opatření

Toto opatření je využito v případech, kdy nelze využít pouze agrotechnické protierozní opatření. Jedná se o opatření, které jsou řešena spíše v rámci pozemků, jak např. terasy, příkopy, průlehy, ochranné hrázky, protierozní nádrže a další. Tato opatření, v kombinaci s ostatními opatření, tvoří tzv. základní kostru protierozní ochrany v rámci pozemkových úprav (Janeček a kol., 2007).

Možnosti technických protierozních opatření jsou:

1. *Terénní urovnávky*
2. *Vrstevnicové meze*
3. *Terasy, příkopy*
4. *Průlehy*
5. *Zatravněné údolnice*
6. *Ochranné hrázky a protierozní nádrže*

Jedná se o liniové protierozní opatření, které řeší především vyrovnání terénních příčných nerovností a snižování podélného sklonu u velmi svažitéch pozemků, za účelem ochrany pozemku před tzv. *cizí* vodou. Při jejich návrzích je nutné řešit, aby svým umístěním usměrňovaly směr obdělávání pozemků. Z ekonomického hlediska je realizace těchto opatření velice nákladné, a proto se k nim hospodáři uchylují až jako k jedné z posledních variant (Janeček a kol., 2008).

V případě terénního urovnání je záměrem hospodáře odstranit vertikální nerovnost, snížit příčný sklon dané části pozemku a omezit soustředění povrchového odtoku. Obecně bychom to mohli nazvat přesunem zeminy na orné půdě. Tyto urovnání můžeme provádět pouze na hlubokých půdách. Právě toto opatření chrání půdu před vodou, která přitéká z lesních pozemků na zemědělskou plochu, dále zachycuje smytou zeminu, chrání intravilán obcí a komunikací před smyvem půdy a jiné. Ve většině případů jsou tyto opatření podmíněna zpracováním projektové dokumentace a získání příslušného povolení (Janeček a kol., 2008).

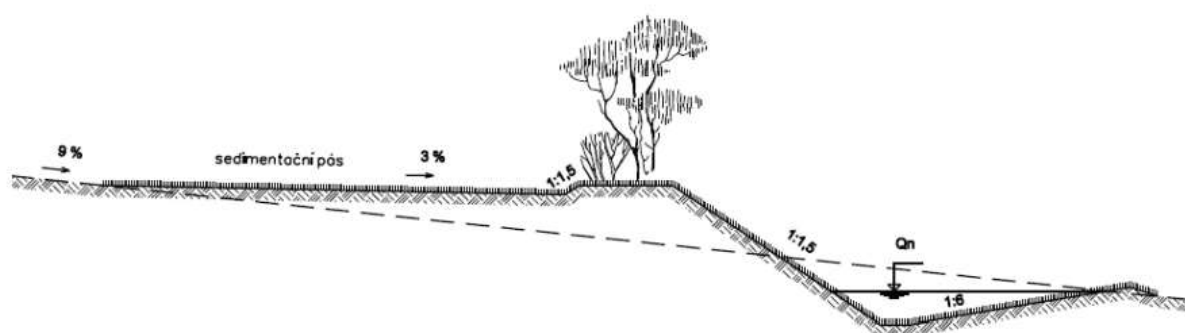
Protierozní meze mají funkci pouze u mezí trasovaných ve směru vrstevnic, které se vytvářejí soustavnou orbou. Právě díky soustavné orbě se během času vytvoří terénní stupeň se sklonem 1:1,5 a výšce přibližně 1 až 1,5 m.

Strmé svahy jsou převážně trvale zatravněny, ovšem mohou být i porostlé dřevinami a mohou být tvořeny i snosem kamení. Jejich funkce spočívá v ovlivnění směru obdělávání pozemků a v možnosti uplatnění pásového střídání plodin.

Protierozní meze jsou tvořeny z těchto částí:

1. *zasakovací pás nad mezí*
2. *vlastní těleso*
3. *odváděcí prvky*

Protierozní meze mají jak ekologický význam, tak i estetický (OPŽP, 2015).



Obr. 4: Vzorový příčný řez protierozní mezí (Janeček a kol., 2008)

Ochranu půdy pomocí teras využijeme u extrémně svažitéch pozemků se sklonem nad 20% (10°), které se nacházejí na hlubokých nebo velmi hlubokých půdách (Toman, 1996). Právě tato metoda ochrany nám umožňuje využití i velmi sklonitých pozemků, pro které by nebylo jiné využití. Ovšem jedná se o druh ochrany, který naruší geomorfologii, pedologii, geologii i biologii krajiny. Rozsah škod nelze dopředu předurčit, proto jsou považovány za krajní řešení protierozní ochrany. V případě jejich realizaci je nutné dbát na maximální zachování původního přirozeného terénu.

Terasy dělíme na:

1. **Stupňové zemní** – terasový stupeň stabilizován vegetačním svahem
2. **Stupňové s opěrnými zdmi** – terasový stupeň stabilizován opěrnými nebo zárubními zdmi, které mohou být z kamenů, betonu nebo železobetonu.
3. **Úzké** – v tomto případě je možná výsadba keřů, ovocných stromů nebo 1 až 2 řádků vinné révy

4. **Široké** – oproti úzkým terasám, jezde možná výsadba až tří řad vinné révy, ovocných stromů a keřů, minimální šířka plošiny široké terasy je 8 m, středně široké terasy jsou do 50 m a velmi široké nad 50 m.
5. **Terasové dílce** – nepravidelné útvary, kde není délka hlavním převládajícím rozměrem. Po celé délce pozemku je stejný příčný směr (kolmo na směr agrotechniky), který definuje jeho využití (v minimální šířce 20 m). V případě stanovení dalšího charakteru dílce posuzujeme větší rozměr např. délku trasy.

Terasy se utváří z plošiny a svahů. V případě jejich návrhů je nutné zvážit i množství neznámých např. šířka a délka terasy, sklon plošin nebo erozní ohrožení (Morgan 2005, Fulajtár a Jánský, 2001).

(1) = terasová plošina

(2) = pata terasy

(3) = hrana terasy

(4) = svah terasy

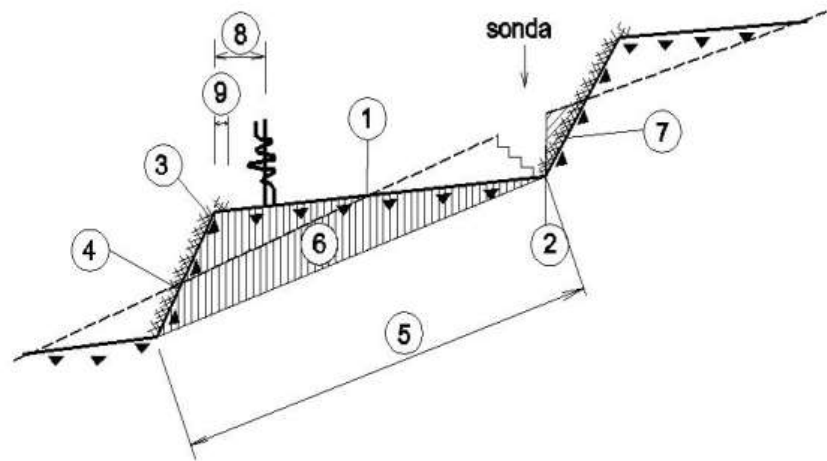
(5) = rozchod teras

(6) = tělo terasy

(7) = narušený půdní profil

(8) = okraj terasy

(9) = okrajový pás



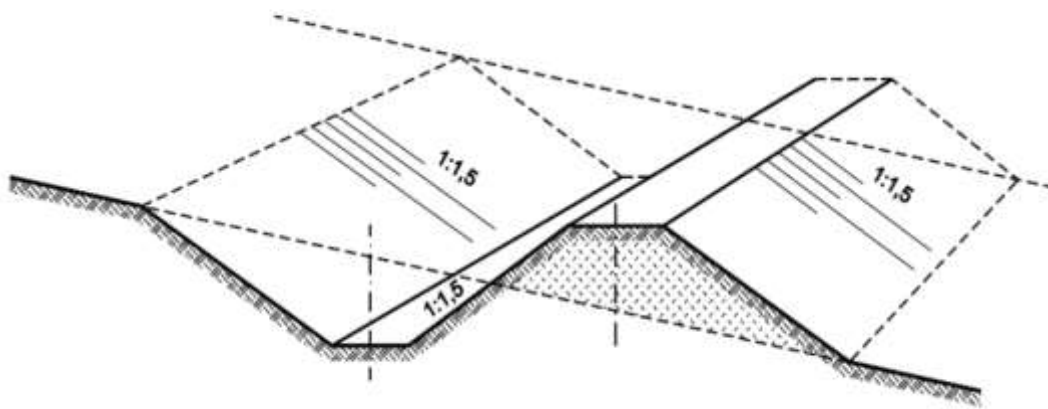
Obr. 5: Schéma uspořádání zemních teras (Janeček a kol., 2008)

Protierozní příkopy odvádějí velké množství přívalových dešťů, právě proto jsou dimenzovány na větší kapacitu, aby zvládly odvodnit území i v případě silných přívalových dešťů (Fulajtár a Jánský, 2001). Při návrhu těchto příkopů, je nutné je dimenzovat na Q5 až Q100, dle požadovaných stupňů ochrany (Janeček a kol., 2008)

Můžeme je rozdělit, z hlediska funkce, na:

1. Příkopy sběrné a záchytné

Záchytné příkopy jsou budovány především na místech, kde se nacházejí chráněná území a kde může dojít k přítoku vody z výše ležících zemědělských i nezemědělských ploch. Sběrné příkopy budujeme v místech, kde chceme dosáhnout snížení velikých délek pozemků po spádnicí zaústěné do svodných průlehů (Janeček a kol., 2008).



Obr. 6: Vzorový řez záchytným (sběrným) příkopem (Janeček a kol., 2008)

Sběrné a záchytné příkopy můžeme dělit na varianty:

- se zatravněným pásem
- se sedimentačním pásem
- s vegetačním doprovodem

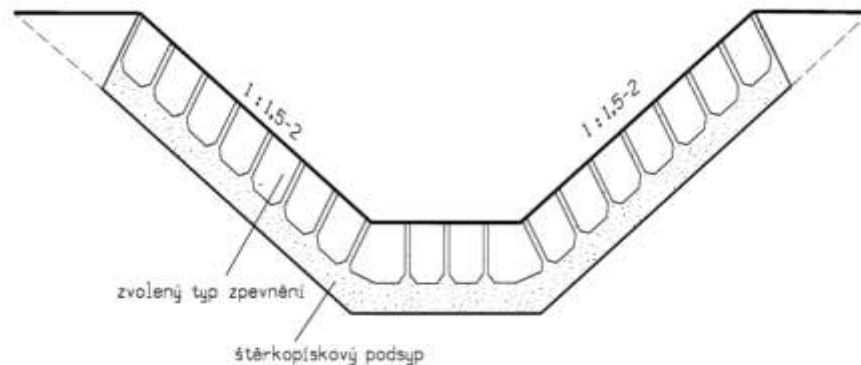
2. Příkopy svodné

Jsou navrhovány k odvádění odtoků a odvodněných splavenin. Jejich návrh spočívá ve vyšším podélném sklonu a jsou často zpevněny (štěrkopísek, zvolený zpevněný materiál). Návrh zpevnění je odvozen od hodnot tečného napětí (Janeček a kol., 2008).

Mezi orientační parametry těchto příkopů patří:

- minimální hloubka 40 cm

- maximální hloubka 100 cm
- maximální délka 800 m
- sklon svahu 1:1,5 až 1:2
- podélný sklon do 3%, u svodných příkopů dle sklonu terénu a druhu zpevnění



Obr. 7: Vzorový řez svodným příkopem (Janeček a kol., 2008)

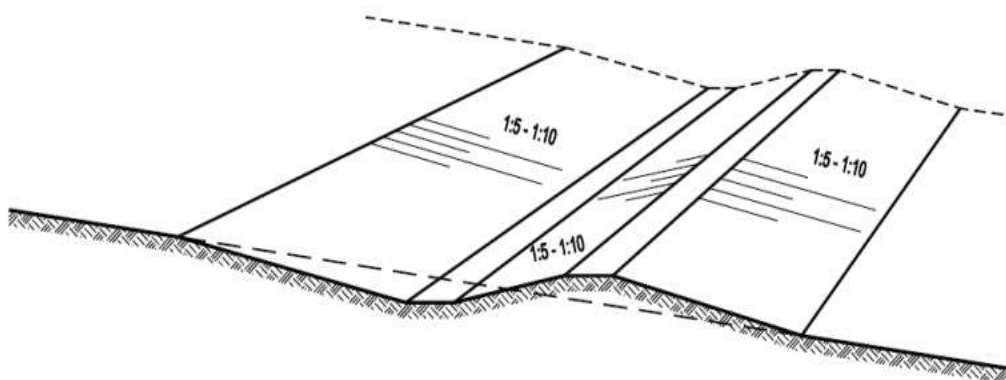
Odváděná voda těmito příkopy odchází jednak do vodních toků, ale je také odváděna pryč ze zemědělských ploch, kde se dále vsakuje. V případě návrhů plánu příkopů musíme znát především sklon koryta a zvolený materiál příkopů, aby byl návrh úspěšný a plnil svou funkci. S využitím travního porostu je počítáno pouze u svahů do 11°, protože na prudším svahu by měly být umístěny kameny a od 15° se používá beton (Morgan, 2005).



Obr. 8: Příkop délky 0,2635 km se napojuje na záchytný příkop A v místě křížení s cestou C1. Příkop je zatravněn. (HYDROPROJEKT CZ, a.s., 2010)

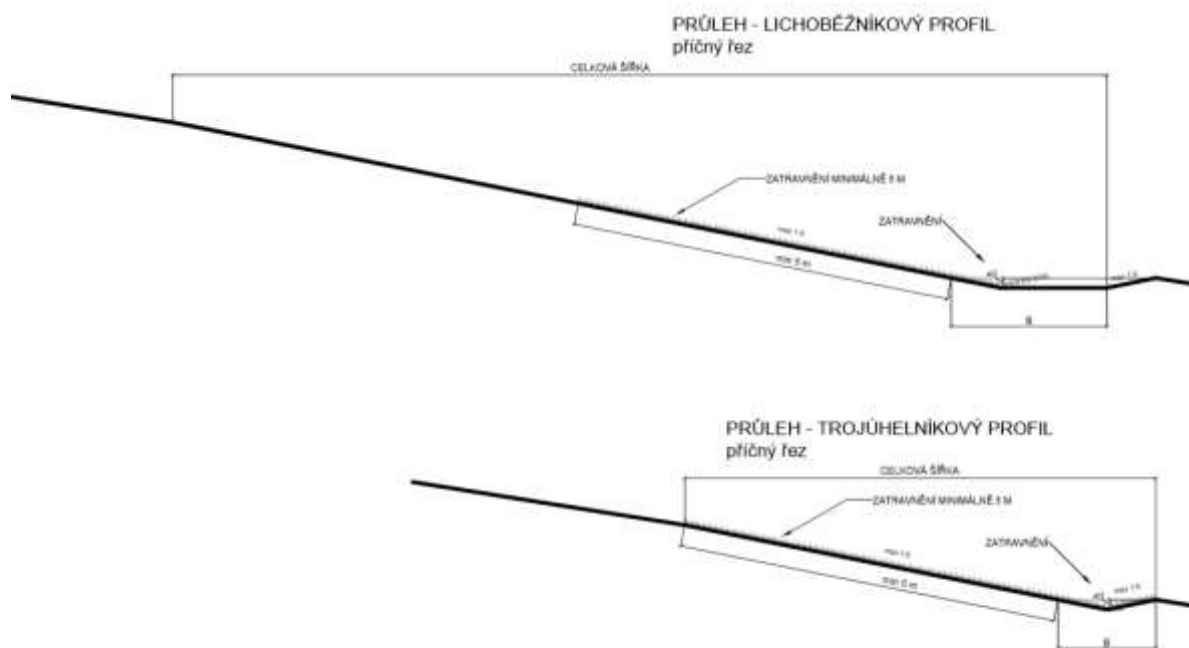
Průlehy

Jedná se o protierozní opatření na orné půdě, které rozděljuje dlouhé svahy na krátké svahy, a zachycují povrchový odtok. Následně umožňují vsak těchto vod a přebytečnou vodu odvádějí z pozemků. Dále umožňují převedení části povodňového průtoku mimo zátopovou oblast.



Obr. 9: Vzorový příčný řez záchytným (sběrným) průlehem (Janeček a kol. 2008)

Průlehy můžeme rozdělit podle funkce záchytné, sběrné a svodné. V souvislosti s jejich funkcí rozdělení svahů je vhodné, aby jejich poloha byla vedena rovnoběžně podél vrstevnic (Janeček a kol., 2008). Průlehy mohou být zatravněné, ale i obdělávatelné s následným vyústěním do údolnic a zpevněných příkopů (Toman, 1996). Dále Janeček (2008) uvádí, že se jedná o mělké, široké (pouze vegetačně zpevněné) příkopy s malými sklony ve svazích od 1:5 do 1:10. V souvislosti s návrhy pozemku, je doporučováno volit průlehy o šířce kolem 20 až 35 m běžné délky (Foster, 1973).



Obr. 10: Příčné řezy jednotlivých druhů průleहů (Janeček a kol., 2008)

Zatravněné údolnice

Jejich návrh spočívá v tom, že slouží k ochraně drah povrchových odtoků, které se v důsledcích členitosti krajiny soustřeďují v přirozených údolnicích a úžlabinách. V příčném profilu mají tvar paraboly, někdy se ovšem stane, že jsou tvarovány do tvaru lichoběžníku nebo trojúhelníku. Jedná se o přirozené nebo upravené svodné průlehy s vegetačním zpevněním. Parametry zatravněných údolnic se definují na základě hydraulických a hydrologických výpočtů. Dále Janeček a kol.(2008) uvádějí, že jejich návrhový průtok pro dimenzování drah soustředěného odtoku je min. Q_{10} . Orba na okolních pozemcích musí být

vedena kolmo na kraj údolnice, aby nedocházelo k vytváření rýh podél travního porostu údolnice. Údolnice se odvádějí pomocí drenáží, aby nedocházelo při příčném přejíždění mechanizace nebo dobytka, k jejich poškození.

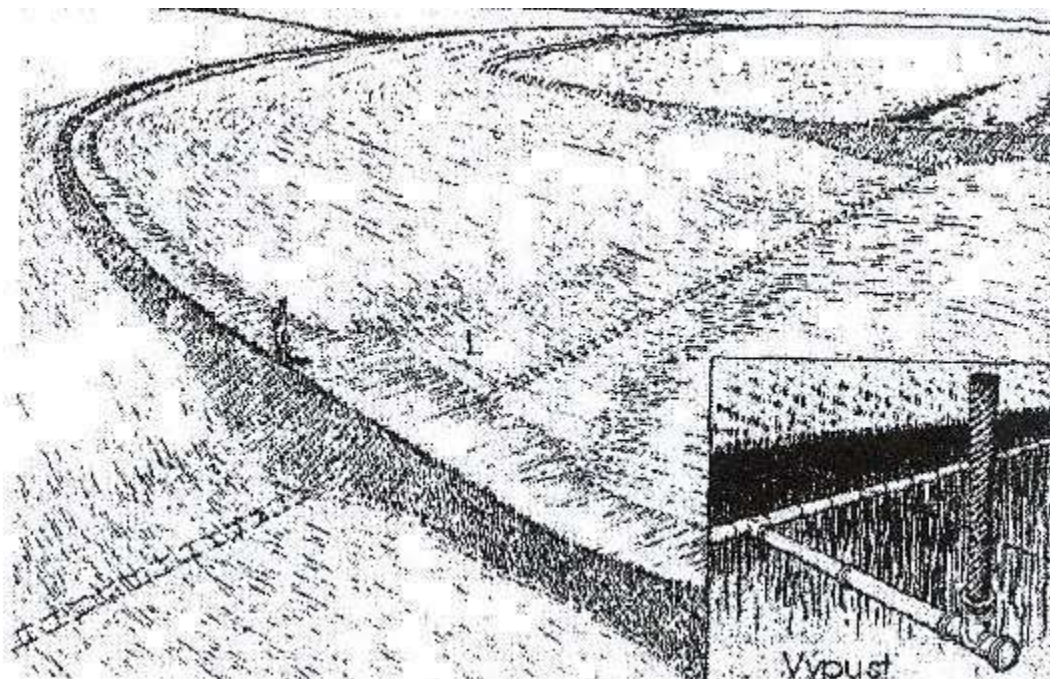


Obr. 11: Obrazový příklad zatravněných údolnic (Dostál, 2016)

Ochranné hrázky a protierozní nádrže

Ochranné hrázky jsou budovány především na pozemcích, nebo na úpatí zemědělsky využívaných pozemků, za účelem ochrany důležitých objektů před nebezpečím zatopení povrchovou vodou (Janeček a kol., 2008).

Jedná se o útvary o velikosti 1 až 1,5 m, které jsou stavěné po směru vrstevnic, s přerušením po 20 až 30 metrech v jejich trase (smyčkovitým vyvedením hrázky na délku asi 2 m směrem proti spádu území). Jejich hlavním cílem je zachycení povrchového odtoku, který vzniká během přívalu dešťových srážek (Janeček a kol., 2007). Šarapatka a kol. (2010) dále dodávají, že modifikované hrázky mohou být opatřeny česlemy.



Obr. 12: Protierozní hrázka (Janeček, 2002)

Ochranné protierozní nádrže slouží k akumulaci, infiltraci a retenci povrchového toku. Dále slouží k zachycení splavenin. Jedná se o závěrečný prvek systému protierozní ochrany.

Důvodem k jejich výstavbě je zvýšení ochrany vodních zdrojů a intravilánů, jako:

1. nádrže s vodním obsahem a vymezeným retenčním a sedimentačním prostorem
2. suché retenční nádrže (ke krátkodobému zachycení povrchového odtoku a usazení splavenin)

Jejich výstavba je vhodná tam, kde přes veškerá provedená opatření na toku dochází k ohrožení intravilánu obcí přívalovými dešťovými srážkami nebo transportování nevhodných látek do povrchových vodních zdrojů. Měly by být schopny zadržet přívalové vody a splaveniny, které mají průměrnou dobu opakování 1x za 50 let.

V případě usazení splavenin v nádrži může z nádrže vytéct relativně čistá voda, která je zbavená především nerozpuštěných látek a látek vázaných. Z pohledu vlivu na kvalitu vody je výhodnější využívat tzv. suché nádrže, u kterých je možné využívat dno po větší část roku, jako hospodářsky udržovanou louku. U těchto nádrží stoupá hladina jen v době zvýšeného průtoku a následně po pozvoleném odtoku vody dochází k vysoušení nánosů, které jsou dále prorůstány trvalým travním porostem. U těchto typů nádrží, není nutné, tak často odstraňovat nánosy. Naopak u trvale zatopených nádrží, je nutné již v projektové fázi pamatovat na

periodický způsob odstraňování sedimentů a na další způsob jejich využití (Janeček a kol., 2007).

3.6 Predikce vodní eroze

V rámci této diplomové práce se bude k predikci smyvu půdy vlivem vodní eroze používat USLE = Universal Soil Loss Equation, neboli „Univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy“. Je to matematický model, který popisuje proces vodní eroze ztráty půdy (WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. H., 1978). Novotný a kol. (2014) uvádějí, že se jedná se o důležitý model pro Českou republiku z důvodu plnění standardů Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (DZES).

3.6.1 Rovnice USLE

Empirická rovnice USLE byla vyvinuta v USA, díky datům získaných z ministerstva zemědělství pomocí simulátoru deště. V průběhu historie desítek let byla upravena až do dnešní podoby. Použití rovnice USLE je především určené pro časový horizont jednoho roku, protože více informací, o ztrátě půdy z jednotlivých srážkových epizod, nezjistíme (Toman, 1996). V případě zjišťování více informací, je nutné využít jiné druhy této rovnice např. MUSLE.

Vývoj rovnice USLE:

Zingg (1940) představuje první empirický model:

$$G = C S^{-1,4} L^{0,6},$$

G = průměrná ztráta půdy, **C** = konstanta zahrnující další faktory, **S** = sklon svahu a **L** = délka svahu

Následně rovnici USLE upravil Smith (1941), dle pokračujících výzkumů jako:

$$G = C S^{1/5} L^{3/5} P,$$

kde **P** = faktor protierozního opatření a **C** = faktor vlivu klimatu, vegetace a půdy

Následně učinil Browning et al. (1947) „evoluční“ šok rovnice USLE. Protože provedená úprava byla pro konkrétní stát USA – Iowu:

$$G = 10 K O L S C P$$

Při čemž **10** = erozní účinnost státu Iowa, **K** = faktor erodovatelnosti půdy, **O** = faktor geologického podkladu, **L** = faktor délky svahu, **S** = faktor sklonu svahu, **C** = faktor vegetačního pokryvu a **P** = faktor protierozní účinnosti opatření.

Zdražil (1965) upravil podmínky rovnice pro Československo:

$$X = 0,63 G P S D H O P O,$$

kde **X** = průměrná ztráta půdy [mm/rok], **G** = součinitel geologického podkladu, **P** = součinitel druhu půdy, **S** = součinitel sklonu pozemku, **D** = součinitel nepřerušené délky svahu po svahu, **H** = součinitel hnojení, **O** = součinitel osevního postupu, **PO** = součinitel druhu protierozní ochrany.

Následně Wischmeier a Smith (1978) dali konečnou podobu dnešní rovnici USLE, a to:

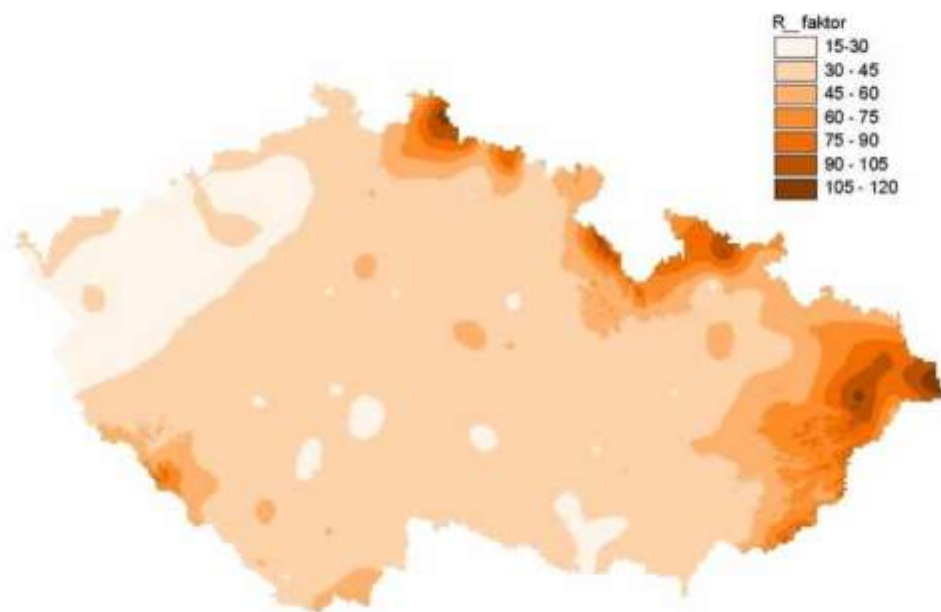
$$G = R K L S C P,$$

kde **G** = průměrná dlouhodobá ztráta půdy [t/ha/r], **R** = faktor erozní účinnosti deště, **K** = faktor erodovatelnosti půdy, **L** = faktor délky svahu, **S** = faktor sklonu svahu, **C** = faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu a **P** = faktor účinnosti protierozního opatření.

Charakteristika jednotlivých faktorů v rovnici USLE:

R – faktor erozní účinnosti deště

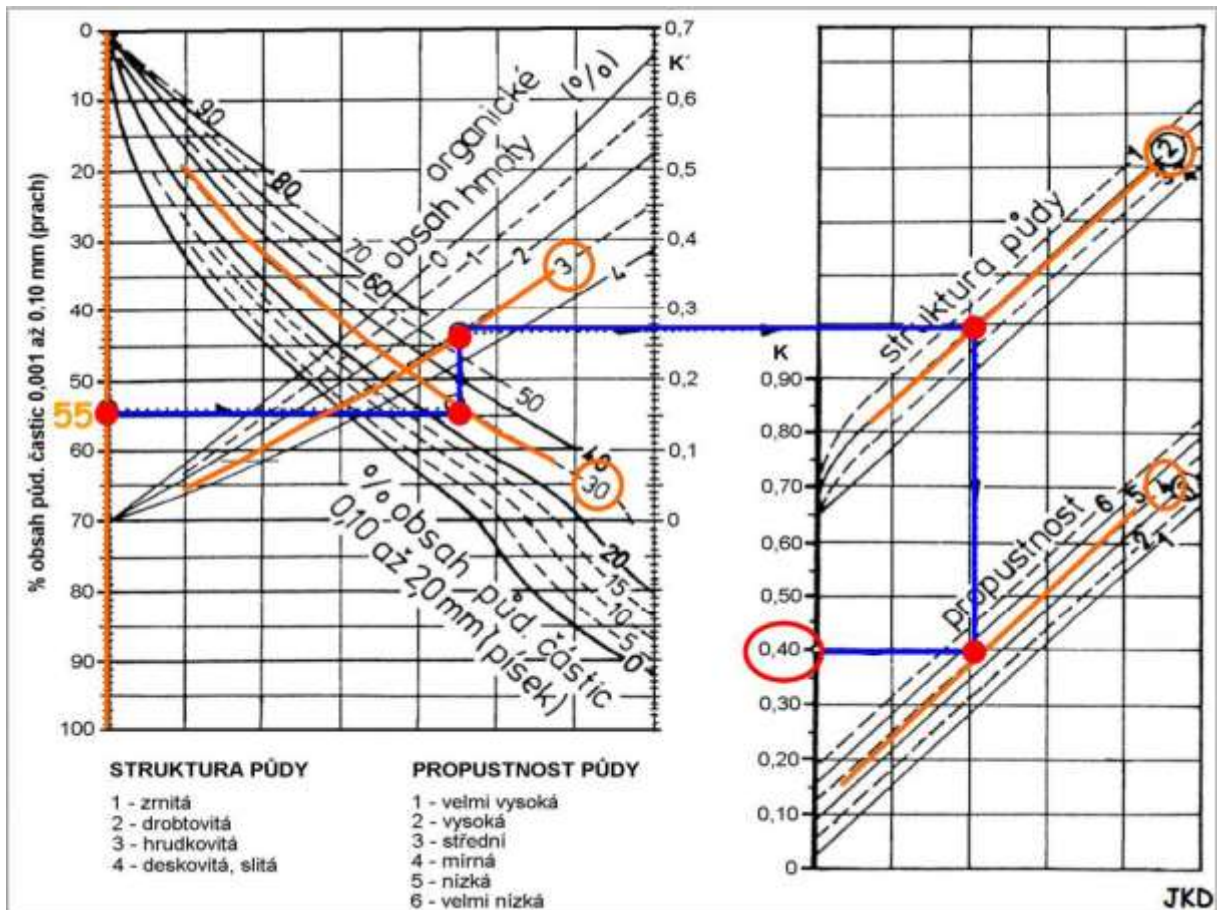
Obecně lze konstatovat, že se jedná o faktor, který je vyjádřený v závislosti na kinetické energii a intenzitě erozně nebezpečných dešťů, neboli tzv. erozní účinnost deště, který stanovíme pomocí geografické lokality a z ní odvozené průměrné hodnotě srážek. Historicky byl definován v USA za použití velkého množství nasbíraných srážkových dat a následný popis pořídili Wischmeier a Smith (1978).



Obr. 13: upravené průměrné hodnoty R – faktoru v $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ na území ČR (Janeček a kol. 2012)

K – faktor erodovatelnosti půdy

Erodovatelnost půdy, je náchylnost půdy k erozi, neboli schopnost půdy odolávat působení erozních činitelů (srážek a povrchových odtoků). Tento faktor je vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a propustnosti půdního profilu. Méně erodovatelná se půda stává, když klesne podíl bahna v transportovaném materiálu, bez ohledu na to, jestli se jedná o písčitou nebo jílovitou frakci (Wishmeier a Smith, 1978).



Obr. 14: Nomogram k zjištění faktoru K (Kozlovsky, Dufková, 2009).

HPJ	K	HPJ	K	HPJ	K
01	0,41	27	0,34	53	0,38
02	0,46	28	0,29	54	0,40
03	0,35	29	0,32	55	0,25
04	0,16	30	0,23	56	0,40
05	0,28	31	0,16	57	0,45
06	0,32	32	0,19	58	0,42
07	0,26	33	0,31	59	0,35
08	0,49	34	0,26	60	0,31
09	0,60	35	0,36	61	0,32
10	0,53	36	0,26	62	0,35
11	0,52	37	0,16	63	0,31
12	0,50	38	0,31	64	0,40
13	0,54	39	nomogram	65	nomogram
14	0,59	40	0,24	66	nomogram
15	0,51	41	0,33	67	0,44
16	0,51	42	0,56	68	0,49
17	0,40	43	0,58	69	nomogram
18	0,24	44	0,56	70	0,41
19	0,33	45	0,54	71	0,47
20	0,28	46	0,47	72	0,48
21	0,15	47	0,43	73	0,48
22	0,24	48	0,41	74	nomogram
23	0,25	49	0,35	75	nomogram
24	0,38	50	0,33	76	nomogram
25	0,45	51	0,26	77	nomogram
26	0,41	52	0,37	78	nomogram

Tab. 4: Hlavní půdní jednotky (Kozlovsky Dufková, 2009).

C – faktor ochranného vlivu vegetace

Jedná se o faktor ochranného vlivu vegetace, který je vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice. Vzrostlá vegetace snižuje rychlost (energii) dopadu srážek na půdu. Ovšem pokud dojde k částečnému zachycení kapek vegetací, můžou mít srážky i tak výraznou rychlost (Neitsch a Arnold, 2009). Faktor C je pro rovnici USLE určen jako průměrná hodnota C pro každou vegetaci nebo plodinu dle velikosti plochy jednotlivých kultur (Janeček a kol., 2008).

Plodina	Zařazení v osevním postupu	Použitá agrotechnika	Hodnoty faktoru vegetačního krytu a agrotechniky podle pěstebních období					
			1	2	3	4	5a	5b
Obilniny	po 1. roce po jetelovinách	OP St	0,50 0,02	0,55 0,02	0,30 0,02	0,05 0,02	0,20 0,02	0,04 0,02
	po obilninách	OP St	0,65 0,25	0,70 0,25	0,45 0,20	0,08 0,08	0,25 0,25	0,04 0,04
	po okopaninách a kukuřici	OP St	0,70 0,70	0,75 0,70	0,50 0,45	0,08 0,08	0,25 0,25	0,04 0,04
Kukuřice	sláma předplodiny sklizena	OP St	0,70 O K 0,25 - 0,70	0,90 O K 0,25 - 0,70	0,70 O K 0,25 - 0,55	0,35 0,25	0,70 0,60	0,40 0,30
	sláma předplodiny nesklizena	OP St	0,60 O K 0,04 - 0,30	0,75 O K 0,04 - 0,25	0,55 O K 0,04 - 0,20	0,25 O K 0,05 - 0,20	0,60 O K 0,25 - 0,40	0,30 O K 0,15 - 0,30
	do herbicidem umrtveného dnu	víceletých pícnin	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03
		jílku jako ozimé meziplodiny v přímých řádcích libovolného směru	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,10
Brambory, Cukrovka			0,65	0,80	0,65	0,30	0,70	
Vojtěška			0,02					
Jetel červený dvousečný			0,015					
Víceletá tráva, louky			0,005					

Tab. 5: Hodnoty faktoru C (Janeček a kol., 2008).

P – faktor účinnosti protierozních opatření

Definice faktoru je poměr ztráty půdy na pozemku s různorodým sklonem a obdělávanou kulturou, na kterém jsou uplatněny určitá opatření ke ztrátě půdy. V podstatě se jedná o faktor protierozních opatření. Jeho účinnost deklaruje užívání vrstevnicového obdělávání půdy (orbu), pásové obdělávání a systém teras. V rámci těchto opatření je nezbytné, aby byly vybudovány cesty pro odvod extrémních dešťových srážek. Výsadba plodin spolu s vrstevnicovým obděláváním tvoří skoro kompletní ochranu proti erozi, která vzniká při méně intenzivním dešti. V případě intenzivních a silných dešťových srážek, jež jsou méně časté, už tyto opatření tvoří malou nebo žádnou ochranu proti erozi (Neitsch a Arnold, 2009)

V případě této práce je hodnota $P = 1$. Tato skutečnost nastane v případě, že nelze předpokládat dodržení maximálních délek a počtu pasů (Janeček a kol., 2008).

LS – topografický faktor

Tento faktor lze obecně vyjádřit jako poměr ztráty půdy na jednotku plochy svahu ke ztrátě půdy na pozemku o délce 22,13 m a se sklonem svahu 9% (Neitsch a Arnold, 2009). Faktor L určuje vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí. Faktor S vyjadřuje vliv sklonu svahu na hodnotě ztráty půdy. Nepřerušenou délku lze měřit od rozvodnice nebo horní hrany pozemku, který přerušuje povrchový odtok jako např. příkop, cesta s příkopem, průleh atd. (Janeček a kol., 2012).

L – faktor délky svahu

Při růstu délky svahu se zvyšuje intenzita eroze. Definici faktoru L lze vyjádřit, jako horizontální vzdálenost od místa vzniku povrchového odtoku k okamžiku, kdy se sklon svahu sníží natolik, že dochází k ukládání erodovaného materiálu (Janeček a kol., 2008). Weishmeir a Smith (1978) odvodili vztah faktor délky svahu zahrnutím prvků z RUSLE (Renard et al., 1997), kde:

$$L = (l/22,13)^m,$$

I = horizontální projekce nepřerušené délky svahu

22,13 = délka standartního pozemku

m = exponent délky svahu

Rychlost ztráty půdy, je zvýšena při zvyšujícím se sklonu svahu rychleji než je tomu u délky svahu (Janeček a kol., 2012).

Určení hodnoty S (Renard et al., 1997)

$$S = 10,8 \sin s + 0,03 \quad \text{pro sklon} < 9\%$$

$$S = 16,8 \sin s + 0,5 \quad \text{pro sklon} \geq 9\%,$$

s = úhel svahu sklonu (rad , m/m)

Výpočet goniometrické funkce by měl být proveden v radiánech.

3.6.2 Ostatní verze rovnice USLE

I když je tato práce vytvořena na aplikaci rovnice USLE, tak bychom si měli zmínit i její ostatní verze.

Jednou z nich je MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation), neboli „Modifikovaná univerzální rovnice ztráty půdy“. V této rovnici je matematicky řešen smyv půdy na základě konkrétních srážkových epizod. V tomto případě se tedy jedná, o konkrétní posouzení srážko – odtokového procesu. V této rovnici je faktor erozní účinnosti deště nahrazen kulminačním průtokem a objemem odtoku.

Williams a Berndt (1972) vyjádřili rovnici MUSLE, jako:

$$sed = 11,8 (Q_{surf} q_{peak} Area_{hru})^{0,56} K C P L S C F R G,$$

kde **sed** = ztráta půdy, **Q_{surf}** = objem odtoku, **q_{peak}** = kumulační průtok, **Area_{hru}** = plocha hydrologické jednotky, **K** = faktor erodovatelnosti půdy, **C** = faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu, **P** = faktor protierozního opatření, **LS** = topografický faktor a **CFRG** = jsou další charakteristiky území.

Koncem 20. století (90. léta) byla rovnice USLE upravena a aktualizována. Úpravy vedly ke vzniku RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) neboli „Revidované univerzální rovnice ztráty půdy“. Janeček a kol. (2007) definují rovnici RUSLE jako:

$$SLR = PLU CC SC SR SM,$$

kde **PLU** = vliv příchozího způsobu pěstování plodin, **CC** = faktor ochrany povrchu půdy, **SC** = účinnost povrchového krytu, **SR** = drsnost povrchu a **SM** = vliv vlhkosti půdy.

Tato rovnice je vhodná i k použití v jiných oborech, např. ve stavebnictví, kdy se posuzuje odnos půdy na staveništích (Janeček a kol., 2007).

4 Metodika

V této kapitole se zaměříme na popis zájmového území a praktickému řešení projevů vodní eroze. Toto zájmové území (k. ú. Dolní Krupá, Horní Krupá, Horní Bukovina a Horní Rokytá) bude charakterizováno z hlediska geografického umístění, klimatických a hydrologických podmínek, geologických poměrů a zemědělské půdy. Následně bude definována charakteristika postupů, kterými se dospělo k opatření proti vodní erozi. Především se bude jednat o stanovení dílčích parametrů, které vedou k dlouhodobému odhadu ztráty půdy vlivem působení vodní eroze pomocí rovnice USLE.

V dalším popise se zaměříme na dílčí kroky, díky kterým se podařilo úspěšně dokončit tuto diplomovou práci. Jedním z těchto kroků bude i aplikace ESRI ArcGis v 10.4, který byl využit k vizualizaci k. ú. Dolní Krupá, Horní Krupá, Horní Bukovina a Horní Rokytá.

4.1 Popis zájmového území

Za účelem posouzení a následných výpočtů vodní eroze bylo nutné vydefinovat území, které se vyznačuje intenzivním výskytem působení vodní eroze na velkých plochách, které se nacházejí v zemědělsky využitých pozemcích. Toto území bylo definováno za pomoci mapového portálu, který řeší monitoring eroze a jeho implementovaným nástrojem GAEC 2 (VÚMOP, 2015). Již zmíněná katastrální území Dolní Krupá, Horní Krupá, Horní Bukovina a Horní Rokytá, která se nacházejí 8 km severozápadně od Mnichova Hradiště ve Středočeském kraji.



Obr. 15: Zájmové území – k. ú. Dolní Krupá, Horní Krupá, Horní Bukovina a Horní Rokytá (CENIA, 2018)

Správním obvodem, pro katastrální území Dolní Krupá, Horní Bukovina a Horní Rokytá, je Mnichovo Hradiště (viz. Obr. 13). U části města Ralsko Horní Krupá, je správním obvodem Město Česká Lípa. Výměra katastrálních území je:

- Dolní Krupá 11, 2 km²
- Horní Krupá 11,3 km²
- Horní Rokytá 5,5 km²
- Horní Bukovina 5,54 km²

U těchto katastrálních území se jedná o klasický typ venkovské zástavby, kde je koncentrace zástavby v centru katastrálního území. Nejčastější využití ploch, v rámci těchto katastrálních území, jsou zemědělské plochy.

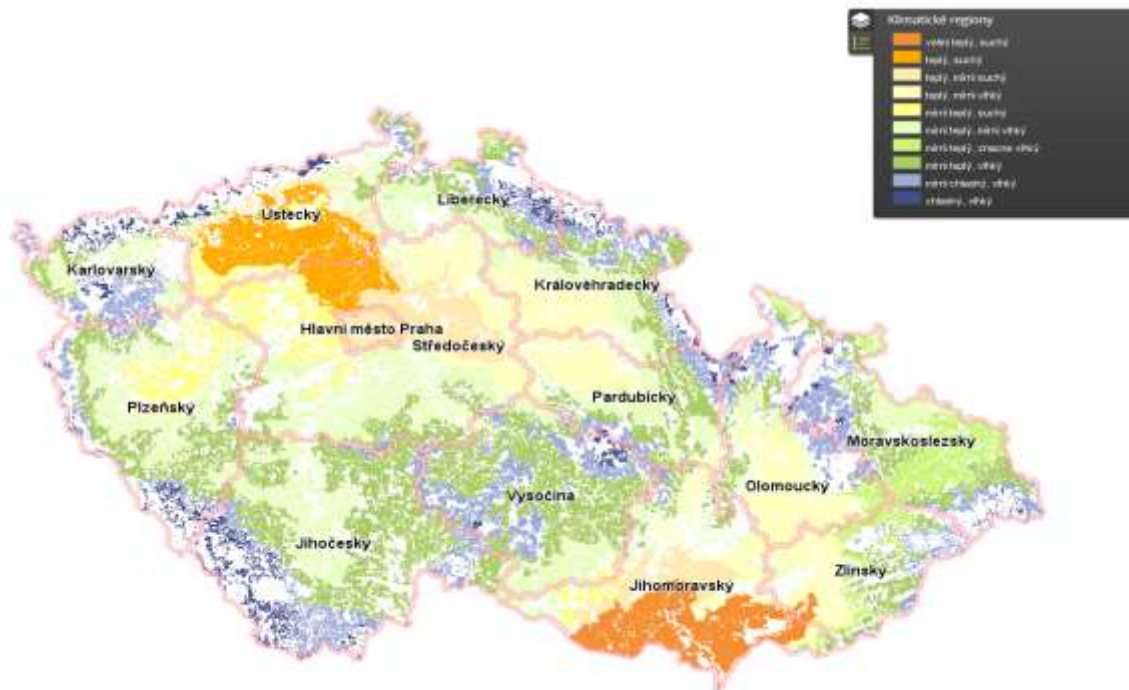
Zároveň jsem při ohledání místa v terénu zjistil, že v minulosti již proběhly technická opatření proti negativním vlivům vodní eroze. Ovšem jedná se o opatření, která mohou být z dob bývalého vojenského újezdu, kdy se krajinou přesouvala těžká vojenská technika. Z tohoto důvodu jsou dle mého názoru tyto opatření předimenzované a v dnešní době jsou spíše jen vzpomínkou na dřívější problémy v krajině.



Obr. 16: Protierozní technické opatření v místní části Horní Krupá

4.1.1 Klimatické poměry

Zájmové území se nachází v mírně teplém klimatickém regionu MT (7 – 11). Konkrétně zájmové území je ve třídě MT 4, která se vyznačuje krátkým přechodem mezi jarním a letním obdobím. Jarní období a podzimní období v tomto regionu provázejí nízké teploty, ale naopak letní období se vyznačuje značnými teplotami a suchem. Zima je spíše krátká a suchá, téměř bez sněhové pokrývky (Quitt et. al., 1971).



Obr. 17: Klimatické regiony (VÚMOP, 2018)

4.1.2 Hydrogeologické poměry

Zájmové území spadá do povodí Horního a Středního Labe. V části zájmového území Dolní Krupá se nachází Krupský potok, který právě tuto část asi 2 km odvodňuje. Jedná se o pravostranný přítok potoku Rokytky, který se nachází také v zájmovém území na rozhraní okresů Česká Lípa a Mladá Boleslav. Další vodní plochou na tomto území je Krupský rybník. Jedná se o malou vodní plochu o velikosti 3 ha (objem vody 36 000 m³), pro kterou je Krupský potok hlavním zdrojem vody. Má i přilehlé zdroje vody, v podobě přilehlých pramenů na březích i pod rybníkem. Právě tyto zdroje vody z něj dělají kombinace průtočného a pramenného typu rybníka. Dnes již je rybník téměř bez vody. Skoro po celé své ploše je zarostlý vegetací. Tento stav je způsobený nejspíše vlivem sucha a selhání podzemních pramenů, které zajišťovaly dodávku vody do rybníka.



Obr. 18: Fotografie současného stavu Krupského rybníka - požerák (Tůma, 2018)



Obr. 19: Fotografie vegetace v ploše Krupského rybníka – pohled z komunikace II/268 (Tůma, 2018)

4.1.3 Geologické poměry

Oblast zájmového území se nachází v plošné soustavě Českého masivu – Mezozoikum Českého masivu. Z regionálně geologického hlediska je posuzovaná oblast součástí české křídové tabule. Skalní podloží zde v hloubce od 0,3 do 4 m tvoří horniny středního turonu (jizerské vrstvy). Jedná se o světle šedé až bělošedé pískovce s jílovitým a kaolinickým tmelem. Pískovce tvoří lavice (pevné prokřemenělé, případně slinité) proložené vložkami slaběji zpevněných pískovců s jílovitým či kaolinickým tmelem.



Obr. 20: Zemní profil v kopané sondě (Tůma, 2017)

Kvarterní pokryv je zde tvořen do hloubky v průměru 1,8 m spraší a jejími deriváty (sprašová hlína ve svrchní části pokryvu, prachovitý písek na styku s pískovcovým eluviem). Spraš má mnoho podob odlišených barvou (od světle šedohnědé přes rezavou – oxidační prostředí). uvedený průměrný sprašový profil 1,8 m lze rozdělit na dvě části, do hloubky v průměru 1,5 m je spraš tuhá a od té hloubky je většinou měkká (Kněžík, 1971).

Pod spraší se nalézá pískovcové eluvium o mocnosti 0,3 až 1 m ležící na silně rozvětralém pískovci (zóna přípovrchového rozvolnění je mocná několik metrů). Barva pískovcového eluvia je ovlivněna průsakem srážkových vod od bílé (vymytá místa) až po rezavou (místa s oxidačním režimem). Písek je, vzhledem k tomu, že se nalézá pod spraší, silně uhelný. V okrajových partiích zájmového území je možné zastihnout pískovcové odkryvy nezřídka obnažené rovnou činností nebo umělým odkopem.

4.1.4 Zemědělská půda v zájmovém území

V rámci dotčených katastrů je zemědělská plocha druhým nejčastějším využitím ploch. Z půdních typů jsou v zájmovém území zastoupeny především kambizemě a luvizemě. Z pohledu ochrany půdy se v zájmovém území vyskytují především méně kvalitní půdy. Spíše se jedná o III. třídu půdy s průměrnou produkční schopností.

V katastrálním území Horní Rokytá se už téměř 20 let nevyužívá klasické orby. V rámci opatření proti erozi půdy je v těchto místech k vidění hluboké kypření. Důvodem tohoto

postupu je, že při použití klasické orby dochází k velkému uvolňování CO_2 do ovzduší, což způsobuje, že se zemědělci stávají jedním z velkých zdrojů znečištění ovzduší. Naopak tyto postupy jsou efektivní, protože část rostlinných zbytků je smíchána se zeminou, což způsobuje zpracování velkého množství CO_2 , ale tyto metody silně přispívají k utužení resp. snižování schopnosti půdy jímat vodu, čili obecně řečeno dochází ke snižování retenční schopnosti krajiny. Pro stabilizaci pH, aby pH půdy neklesalo pod pH 6,5 se plošně aplikuje ještě před kypřením lasturnatý vápenec nazývaný v odborné literatuře také „Muschelkalk“, tedy patří mezi zoogenní vápence, které mají reakční kinetiku pomalejší než standardní mletý vápenec z vysoce metamorfovaných ložisek.

Pro snížení se používá CaCO_3 a příměsí MgCO_3 dle lokality – vápence s vyšším podílem MgCO_3 se nazývají dolomitické vápence a podíl MG zvyšuje výslednou nutriční hodnotu zemědělským plodin.

CaCO_3 se vyskytuje v přírodě v různých krystalických formách, čili je polymorfní to znamená, že krystaly uhličitanu vápenatého mohou být v závislosti na krystalizačních podmínkách, krystalovat v různých krystalových tvarech a v případě CaCO_3 je to kalcit, aragonit, vaterit a vytváří i různé nerosty a horniny, které mají i rozdílné fyzikálně chemické vlastnosti jako je například rozdílná rozpustnost, kdy aragonit má rozpustnost 3 x větší než kalcit a z toho vyplývají i následné reakční mechanismy s okolními sloučeninami. Vliv na rozpustnost má samozřejmě i pH prostředí v němž se nachází kdy vlivnost je až jeden řád a s ním koresponduje parciální tlak volného CO_2 (Florkin, M., Sheer, B., T. 1972).

Diagram chemických reakcí při utváření ulity			
externí médium	plášť	mimoplášťová tekutina	schránka
$\text{Ca}^{2+} \leftrightarrow$	$\leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \leftrightarrow$	$\leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \leftrightarrow$ CaCO_3	\leftrightarrow CaCO_3
	\updownarrow		
	CaCO_3	\updownarrow	
$\text{HCO}_3^- \leftrightarrow$	$\leftrightarrow \text{HCO}_3^- \leftrightarrow$	$\leftrightarrow \text{HCO}_3^-$	
	protein \rightarrow	\rightarrow protein \rightarrow	
	mukopolysacharidy \rightarrow	\rightarrow mukopolysacharidy \rightarrow	

Tab. 6: Diagram chemických reakcí při utváření ulity (Florkin, M., Sheer, B., T. 1972)

4.2 Použitá data

Cílem této práce je posouzení a analýza působení vlivu vodní eroze na bloky orné půdy v k. ú. Dolní Krupá, Horní Krupá, Horní Bukovina a Horní Rokytá.

Další data, která byla volně dostupná a využita k tvorbě této práce, jsou umístěna na internetových stránkách Českého úřadu zeměměřického a katastrálního. Informace z tohoto portálu (vlastnická práva) byly využity při definování půdních bloků a linie soustředěného odtoku. Protierozní oseední postup byl tvořen dle metodik Janeček a kol. (2008) a Kubatové (2001), tvoří přílohu č. 1 této práce.

4.3 Určení faktorů rovnice USLE

4.3.1 K – faktor erodovatelnosti půdy

Nejdříve jsem stáhl vrstvu BEPJ (VÚMOP 2018). Z BPEJ se na základě převodního vztahu určil K faktor (z hlavní půdní jednotky).

4.3.2 C – faktor ochranného vlivu vegetace

Hodnota C faktoru byla definována na základě současného osevního postupu, kdy tato hodnota byla stanovena pro všechny plodiny a následně vyšel průměrný faktor C.

PŮVODNÍ OSEVNÍ POSTUP

Pšenice ozimá.....c faktor 0,12

Řepka ozimá.....c faktor 0,22

Žito ozimé.....c faktor 0,17

Pelůška jarní.....c faktor 0,05

Průměrný C faktor je tedy 0,14

4.3.3 R – faktor erozní účinnosti deště a povrchového odtoku

Tento faktor je stanoven na základě průměrných hodnot vypočítaných pro ČR. Dle nové metodiky z roku 2012 je stanovena průměrná hodnota faktoru $R = 40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{hod}^{-1}$ (sousední země $R = \pm 50$). Před rokem 2012, bylo stanoveno pro Českou republiku $R = 20 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{hod}^{-1}$.

4.3.4 LS – faktor délky a sklonu svahu

Spočteno prostředím GIS podle Matiašové (1999), kde prvním krokem je použití hydrologických nástrojů vytvoření vrstvy směru odtoku z vyhlazeného DEM, která udává kvalitní (směr) a kvantitativní (množství) charakteristiky odtoku. Dále byla zpracována k vytvoření rastru akumulace odtoku z obklopujících buněk do buňky počítané (nezahrnuje se). Vysoké hodnoty akumulace v buňkách představují plochy koncentrace odtoku. Dále byla

vytvořena vrstva sklonitosti svahu (Slope ve stupních) z DEM. Z těchto dvou vrstev se vytváří LS Faktor pomocí Raster calculator.

4.3.5 P – faktor účinnosti protierozního opatření

Tento faktor vyjadřuje příslušnou hodnotu jednotlivých protierozních opatření. Byla použita hodnota $P=1$.

5 Výsledky

V této kapitole se budu věnovat výsledkům působení vodní eroze v katastrálních územích Dolní Krupá, Horní Krupá, Horní Bukovina a Horní Rokytá. Celou plochu jsem rozdělil do tří oblastí, ve kterých je znázorněna průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí. Zájmové území je rozděleno na tři mapové úseky dle katastrálních území, ve kterých je znázorněna síla působení vodní eroze pomocí volně dostupných dat a USLE (Wishmeier, Smith 1978).

Teď už známe všechny faktory rovnice USLE, všechny je vynásobíme v raster calculatoru (R.K.LS.C.P). Výsledkem výpočtu je ztráta půdy v jednotlivých pixelech (mapky co jsem poslal již dříve)

Pomocí zonal statistic vypočtena průměrná ztráta půdy pro jednotlivé půdní bloky -> zjištěny půdní bloky, kde ztráta přesahuje 4t/ha/rok -> nutno změnit osevnický postup, případně zatravnit

5.1 Působení vodní eroze na zemědělských plochách v k. ú. Horní Bukovina

Tato část zájmového území se nachází směrem na Mnichovo Hradiště od hranic s Libereckým krajem (podél komunikace II/268). Z celého zájmového území se jedná o plochy, které mají nejlepší podmínky pro hospodaření. Z hlediska terénního uspořádání jde o plochy rovinaté, které pozvolna navazují na svahovitou část severozápadně směrem k další části zájmového území Horní Rokytá.

V mapové aplikaci ArcGis pomocí rovnice USLE (Wishmeier, Smith 1978), jsem nejdříve vypočítal místa, kde dochází k nejvyšším dlouhodobým ztrátám půdy vodní erozí.

Z LPISu stáhnout vektorové vrstvy půdních bloků

R faktor

Použita hodnota 40

K faktor

podle Hlavní půdní jednotky (HPJ) z BPEJ

P faktor

Použita hodnota 1

LS faktor

Vypočten podle vzorce Mitášové:

$$LS = (m+1) * [A / a_0]^m * [\sin b / b_0]^n$$

kde:

A[m] – tzv. přispívající plocha,

b – sklon (°),

m – 0,6, n – 1,3,

a₀ – 22,1 m,

b₀ – 0,09.

Obr. 21: Rovnice pro výpočet LS faktoru (Mitášová et al. 1998)

Optimální, resp. doporučená varianta, bude obsahovat kombinaci použitých protierozních opatření, které by vedly ke snížení ztráty orné půdy na přípustnou mez $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Půdní blok ohrožený erozí č. 1



Obr. 22: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 1 – k. ú. Horní Bukovina

Jedná se o plochu 6,74 ha, která se nachází na jihozápadě katastrálního území Horní Bukovina. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek postačí změna protierozního osevního postupu:

k. ú. Horní Bukovina	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Pšenice ozimá	7,8	4000	6,74	52,572	210288
	Řepka ozimá	4	9 000	6,74	26,96	242640
	Žito ozimé	6,3	3700	6,74	42,462	157 109
	Pelůška jarní	3,6	4300	6,74	24,264	104335
					SUMA	714372

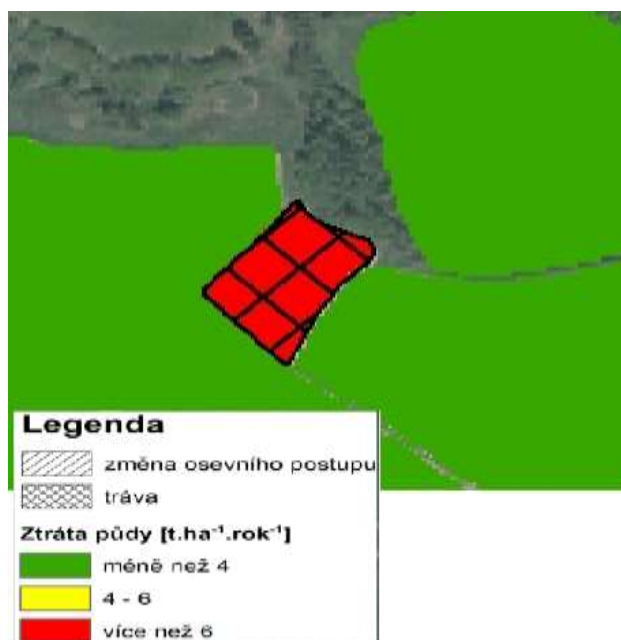
Tab. 8 Původní osevni postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 1 v k. ú. Horní Bukovina

k. ú. Horní Bukovina	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny Kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Jetel plazivý	8	4000	6,74	53,92	215680
	Pšenice ozimá	7,8	4 000	6,74	52,572	210288
	Kukuřice siláž	30	800	6,74	202,2	161 760
	Ječmen jarní	5,5	4000	6,74	37,07	148280
					SUMA	736008

Tab. 9 Původní osevňovací postup – na půdním bloku ohroženém erozí č. 1 v k. ú. Horní Bukovina

Při aplikaci tohoto protierozního opatření se odnos půdy sníží pod $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Tímto konstatuji, že navržené protierozní opatření je dostačující. V rámci ekonomického zhodnocení nového protierozního osevňovacího postupu dojde k přebytku ve výši 21 636 Kč.

Půdní blok ohrožený erozí č. 2

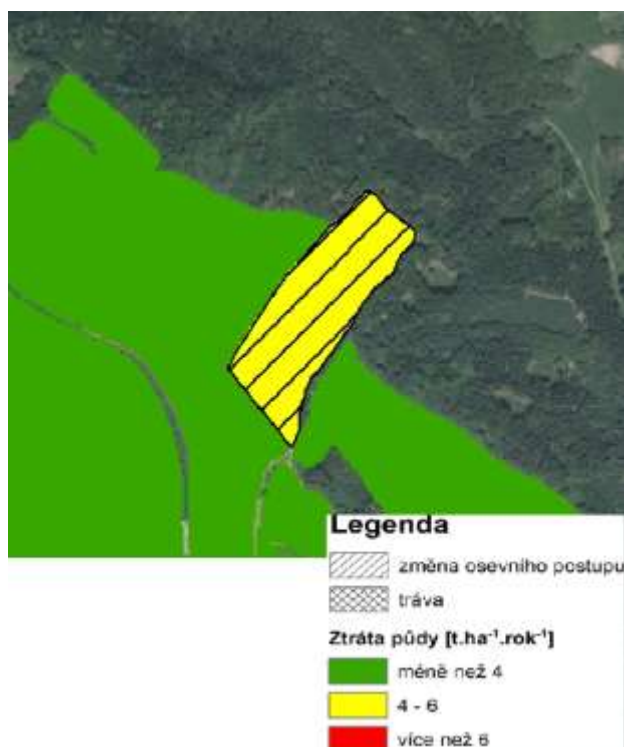


Obr. 23: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 2 – k. ú. Horní Bukovina

Jedná se o plochu 1,17 ha, která se nachází na jihozápadě katastrálního území Horní Bukovina. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek nepostačí změna protierozního osevňovacího postupu a tak jsem navrhl celou plochu zatravnit:

Náklady nutné k zatravnění plochy 1,17 ha činí 14.040,- Kč. Zároveň se jedná o celkovou částku protierozního opatření pro výše specifikovanou oblast.

Půdní blok ohrožený erozí č. 3



Obr. 24: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 3 – k. ú. Horní Bukovina

Jedná se o plošný celek na severu katastrálního území Horní Bukovina. Jeho velikost je 5,46 ha. V tomto případě se průměrná dlouhodobá ztráta půdy pohybuje v rozmezí 4 – 5 t.ha⁻¹.rok⁻¹.¹ V tomto případě postačí využít protierozního opatření změny osevního postupu:

k. ú. Horní Bukovina	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny Kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Pšenice ozimá	7,8	4000	5,46	42,588	170352
	Řepka ozimá	4	9 000	5,46	21,84	196560
	Žito ozimé	6,3	3700	5,46	34,398	127 273
	Pelůška jarní	3,6	4300	5,46	19,656	84520,8
					SUMA	578705,4

Tab. 10: Současný osevní postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 3 v k. ú. Horní Bukovina

k. ú. Horní Bukovina	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny Kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Jetel plazivý	8	4000	5,46	43,68	174720
	Pšenice ozimá	7,8	4 000	5,46	42,588	170394,588
	Kukuřice siláž	30	800	5,46	163,8	131040
	Ječmen jarní	5,5	4000	5,46	30,03	120120
					SUMA	596274,588

Tab. 11: Nový protierozní osevní postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 3 v k. ú. Horní Bukovina

Při aplikaci tohoto protierozního opatření se odnos půdy sníží pod $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Tímto konstatuji, že navržené protierozní opatření je dostačující. V rámci ekonomického zhodnocení nového protierozního osevního postupu dojde k přebytku 17 569,19 Kč.

Půdní blok ohrožený erozí č. 4



Obr. 25: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 4 – k. ú. Horní Bukovina

Jedná se o plochu 4,59 ha, která se nachází na východě katastrálního území Horní Bukovina. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek nepostačí změna protierozního osevního postupu a tak jsem navrhl celou plochu zatravnit:

Náklady nutné k zatravnění plochy 4,59 ha činí 55.080,- Kč. Zároveň se jedná o celkovou částku protierozního opatření pro výše specifikovanou oblast.

Půdní blok ohrožený erozí č. 5



Obr. 26: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 5 – k. ú. Horní Bukovina

Jedná se o plošný celek na severu katastrálního území Horní Bukovina. Jeho velikost je 1,15 ha. V tomto případě se průměrná dlouhodobá ztráta půdy pohybuje v rozmezí 4 – 6 t.ha⁻¹.rok⁻¹. V tomto případě postačí využít protierozního opatření změny osevního postupu:

k. ú. Horní Bukovina	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny Kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Pšenice ozimá	7,8	4000	1,15	8,97	35880
	Řepka ozimá	4	9 000	1,15	4,6	41400
	Žito ozimé	6,3	3700	1,15	7,245	26 807
	Pelůška jarní	3,6	4300	1,15	4,14	17802
					SUMA	121888,5

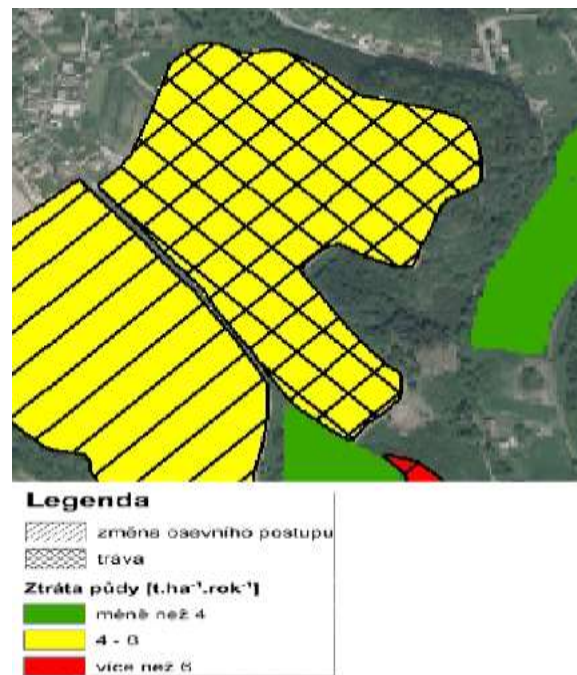
Tab. 12 Současný osevní postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 5 v k. ú. Horní Bukovina

k. ú. Horní Bukovina	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny Kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Jetel plazivý	8	4000	1,15	9,2	36800
	Pšenice ozimá	7,8	4 000	1,15	8,97	35888,97
	Kukuřice siláž	30	800	1,15	34,5	27600
	Ječmen jarní	5,5	4000	1,15	6,325	25300
					SUMA	125588,97

Tab. 13 Nový protierozní osevní postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 5 v k. ú. Horní Bukovina

Při aplikaci tohoto protierozního opatření se odnos půdy sníží pod 4 t.ha⁻¹.rok⁻¹. Tímto konstatují, že navržené protierozní opatření je dostačující. V rámci ekonomického zhodnocení nového protierozního osevního postupu dojde k přebytku 3 700,47 Kč.

Půdní blok ohrožený erozí č. 6



Obr. 27: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 6 – k. ú. Horní Bukovina

Jedná se o plochu 14,12 ha, která se nachází na jihovýchodě katastrálního území Horní Bukovina. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek nepostačí změna protierozního osevního postupu a tak jsem navrhl celou plochu zatravnit:

Náklady nutné k zatravnění plochy 14,12 ha činí 169.440,- Kč. Zároveň se jedná o celkovou částku protierozního opatření pro výše specifikovanou oblast.

Půdní blok ohrožený erozí č. 7

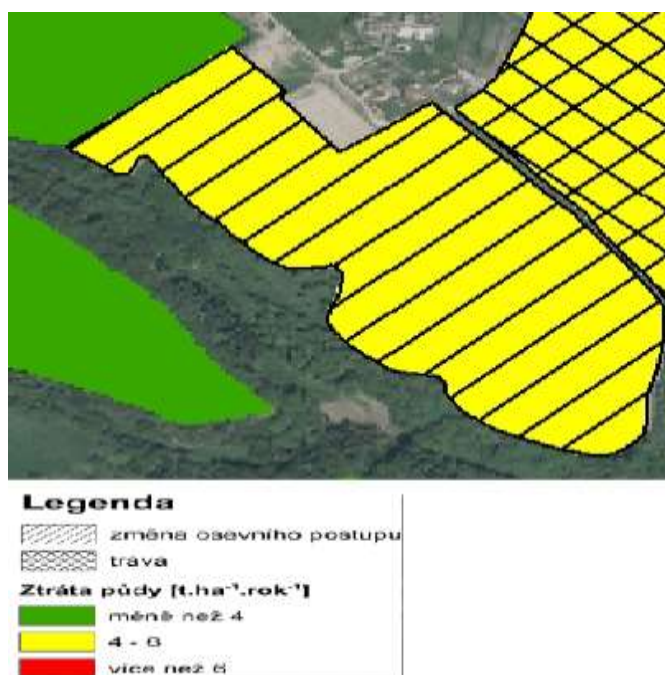


Obr. 28: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 7 – k. ú. Horní Bukovina

Jedná se o plochu 0,30 ha, která se nachází na jihovýchodě katastrálního území Horní Bukovina. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek nepostačí změna protierozního osevního postupu a tak jsem navrhl celou plochu zatravnit:

Náklady nutné k zatravnění plochy 0,30 ha činí 3.600,- Kč. Zároveň se jedná o celkovou částku protierozního opatření pro výše specifikovanou oblast.

Půdní blok ohrožený erozí č. 8



Obr. 29: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 8 – k. ú. Horní Bukovina

Jedná se o plošný celek na severu katastrálního území Horní Bukovina. Jeho velikost je 15,86 ha. V tomto případě se průměrná dlouhodobá ztráta půdy pohybuje v rozmezí 4 – 6 t.ha⁻¹.rok⁻¹. V tomto případě postačí využít protierozního opatření změny osevního postupu:

k. ú. Horní Bukovina	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny Kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Pšenice ozimá	7,8	4000	15,86	123,708	494832
	Řepka ozimá	4	9 000	15,86	63,44	570960
	Žito ozimé	6,3	3700	15,86	99,918	369 697
	Pelůška jarní	3,6	4300	15,86	57,096	245512,8
					SUMA	1681001,4

Tab. 14 Současný osevní postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 8 v k. ú. Horní Bukovina

k. ú. Horní Bukovina	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny Kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Jetel plazivý	8	4000	15,86	126,88	507520
	Pšenice ozimá	7,8	4 000	15,86	123,708	494955,708
	Kukuřice siláž	30	800	15,86	475,8	380640
	Ječmen jarní	5,5	4000	15,86	87,23	348920
					SUMA	1732035,708

Tab. 15 Nový protierozní osevní postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 8 v k. ú. Horní Bukovina

Při aplikaci tohoto protierozního opatření se odnos půdy sníží pod 4 t.ha⁻¹.rok⁻¹. Tímto konstatuji, že navržené protierozní opatření je dostačující. V rámci ekonomického zhodnocení nového protierozního osevního postupu dojde k přebytku 51 034,308 Kč.

5.2 Působení vodní eroze v k. ú. Horní Krupá a Dolní Krupá

Tato část zájmového území se nachází směrem na Mnichovo Hradiště (Středočeský kraj) od hranic s Libereckým krajem (podél komunikace II/268). Z hlediska terénního uspořádání jde o plochy spíše nižší nadmořské výšky, které přímo navazují na části zájmového území Horní Rokytá.

V mapové aplikaci ArcGis pomocí rovnice USLE (Wishmeier, Smith 1978) vypočítal průměrnou dlouhodobou ztrátu půdy vodní erozí pro jednotlivé bloky.

Z LPISu stáhnout vektorové vrstvy půdních bloků

R faktor

Použita hodnota 40

K faktor

podle Hlavní půdní jednotky (HPJ) z BPEJ

P faktor

Použita hodnota 1

LS faktor

Vypočten podle vzorce Mitášové:

$$LS = (m+1) * [A / a_0]^m * [\sin b / b_0]^n$$

kde:

A[m] – tzv. přispívající plocha,

b – sklon (°),

m – 0,6, n – 1,3,

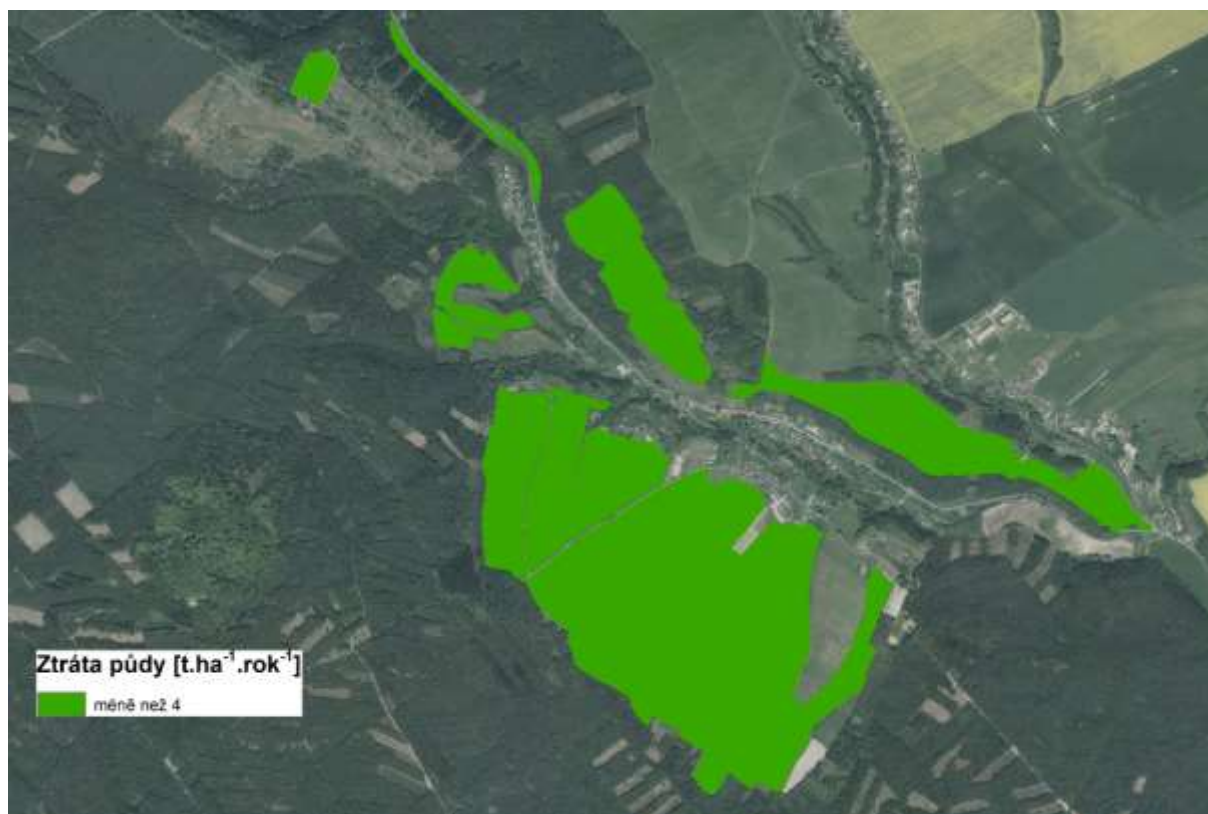
a₀ – 22,1 m,

b₀ – 0,09.

Obr. 19: Rovnice pro výpočet LS faktoru (Mitášová et al. 1998)

Výsledný rastr neobsahuje plochy, které by vedly ke ztrátě orné půdy na hodnotu vyšší než $4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. V tomto případě se dá hovořit o zcela ideálních plochách pro hospodaření.

Dále v tomto případě není potřeba počítat ekonomické zhodnocení, protože se zde neaplikují žádná již zmíněná ani nová protierozní opatření.



Obr. 30: Výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí pro k. ú. Horní Krupá a Dolní Krupá (ArcGis 2018)

5.3 Působení vodní eroze v k. ú. Horní Rokytá

Tato část zájmového území je přirozenou hranicí Libereckého a Středočeského kraje. Z hlediska terénního uspořádání jde o plochy s velkými rozdíly nadmořské výšky. Celá zájmová plocha je svahovitá, místy ovšem s mírným sklonem.

V mapové aplikaci ArcGis jsem nejdříve vypočítal místa, kde dochází k nejvyšším dlouhodobým ztrátám půdy vodní erozí. Optimální, resp. doporučená varianta, bude

obsahovat kombinaci použitých protierozních opatření, které by vedly ke snížení ztráty orné půdy na přípustnou mez $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Z LPISu stáhnout vektorové vrstvy půdních bloků

R faktor

Použita hodnota 40

K faktor

podle Hlavní půdní jednotky (HPJ) z BPEJ

P faktor

Použita hodnota 1

LS faktor

Vypočten podle:

$$LS = (m+1) * [A / a_0]^m * [\sin b / b_0]^n$$

kde:

A[m] – tzv. přispívající plocha,

b – sklon (°),

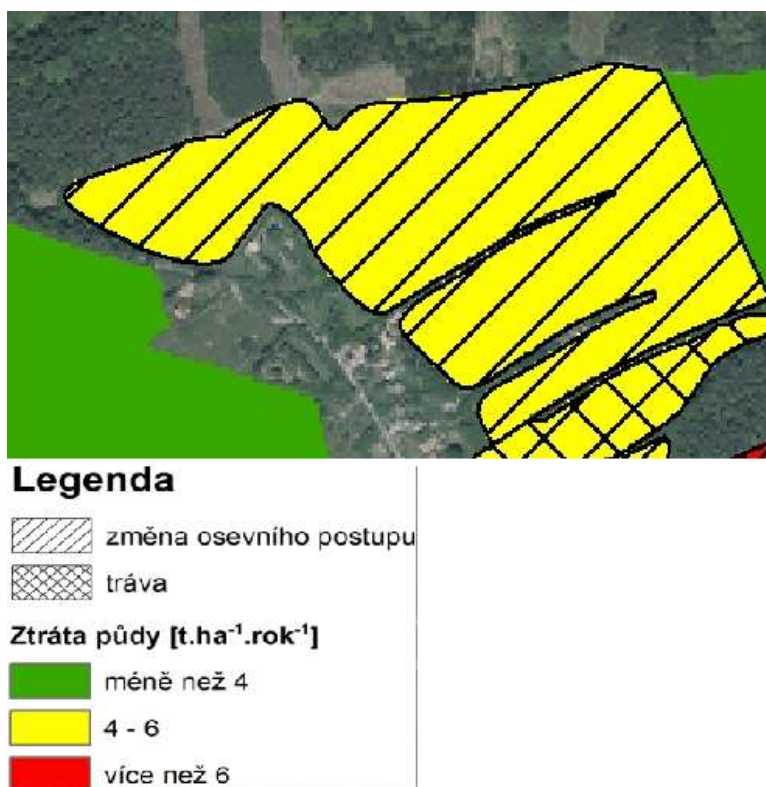
m – 0,6, n – 1,3,

a₀ – 22,1 m,

b₀ – 0,09.

Obr. 19: Rovnice pro výpočet LS faktoru (Mitášová et al. 1998)

Půdní blok ohrožený erozí č. 1



Obr. 31: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 1 – k. ú. Horní Rokytá

Jedná se o plochu 14,13 ha, která se nachází na severozápadě katastrálního území Horní Rokytá. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek postačí změna protierozního osevniho postupu:

k. ú. Horní Rokytá	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Pšenice ozimá	7,8	4000	14,13	110,214	440856
	Řepka ozimá	4	9 000	14,13	56,52	508680
	Žito ozimé	6,3	3700	14,13	89,019	329 370
	Pelůška jarní	3,6	4300	14,13	50,868	218732,4
					SUMA	1497638,7

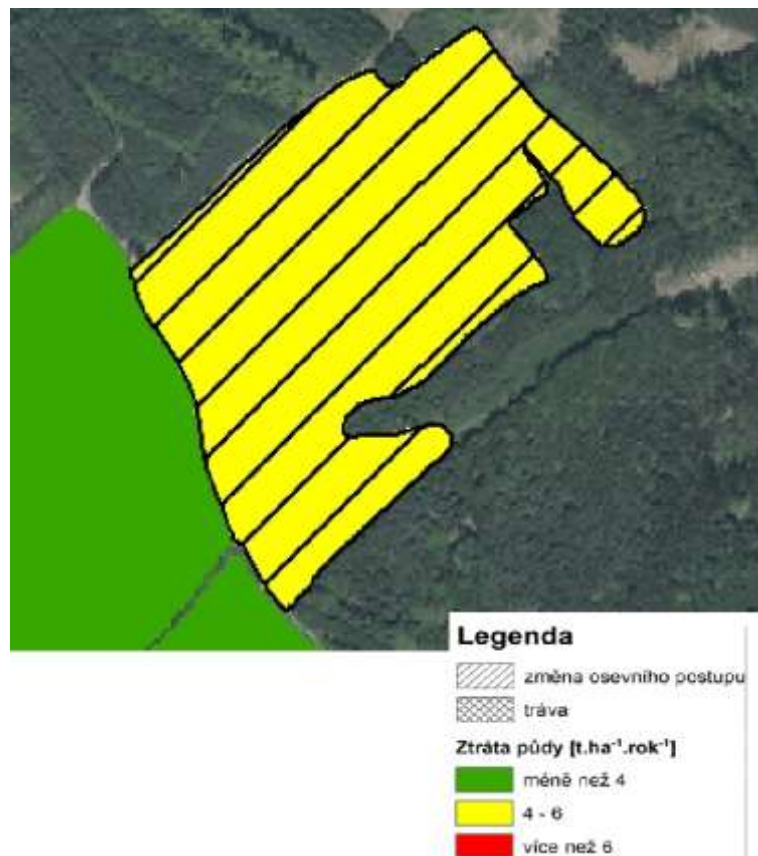
Tab. 16 Původní osevni postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 1 v k. ú. Horní Rokytá

k. ú. Horní Rokytá	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny Kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Jetel plazivý	8	4000	14,13	113,04	452160
	Pšenice ozimá	7,8	4 000	14,13	110,214	440966,214
	Kukuřice siláž	30	800	14,13	423,9	339120
	Ječmen jarní	5,5	4000	14,13	77,715	310860
					SUMA	1543106,214

Tab. 17 Nový protierozní oseední postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 1 v k. ú. Horní Rokytá

Při aplikaci tohoto protierozního opatření se odnos půdy sníží pod $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Tímto konstatuji, že navržené protierozní opatření je dostačující. V rámci ekonomického zhodnocení nového protierozního oseedního postupu dojde k přebytku ve výši 45 467,514Kč.

Půdní blok ohrožený erozí č. 2



Obr. 32: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 2 – k. ú. Horní Rokytá

Jedná se o plochu 14,26 ha, která se nachází na severovýchodě katastrálního území Horní Rokytá. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek postačí změna protierozního osevního postupu:

k. ú. Horní Rokytá	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Pšenice ozimá	7,8	4000	14,26	111,228	444912
	Řepka ozimá	4	9 000	14,26	57,04	513360
	Žito ozimé	6,3	3700	14,26	89,838	332 401
	Pelouška jarní	3,6	4300	14,26	51,336	220744,8
					SUMA	1511417,4

Tab. 18 Původní osevní postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 2 v k. ú. Horní Rokytá

k. ú. Horní Rokytá	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Jetel plazivý	8	4000	14,26	114,08	456320
	Pšenice ozimá	7,8	4 000	14,26	111,228	445023,228
	Kukuřice siláž	30	800	14,26	427,8	342240
	Ječmen jarní	5,5	4000	14,26	78,43	313720
					SUMA	1557303,228

Tab. 19 Nový protierozní osevní postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 2 v k. ú. Horní Rokytá

Při aplikaci tohoto protierozního opatření se odnos půdy sníží pod $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Tímto konstatuji, že navržené protierozní opatření je dostačující. V rámci ekonomického zhodnocení nového protierozního osevního postupu dojde k přebytku ve výši 45 885,828 Kč.

Půdní blok ohrožený erozí č. 3



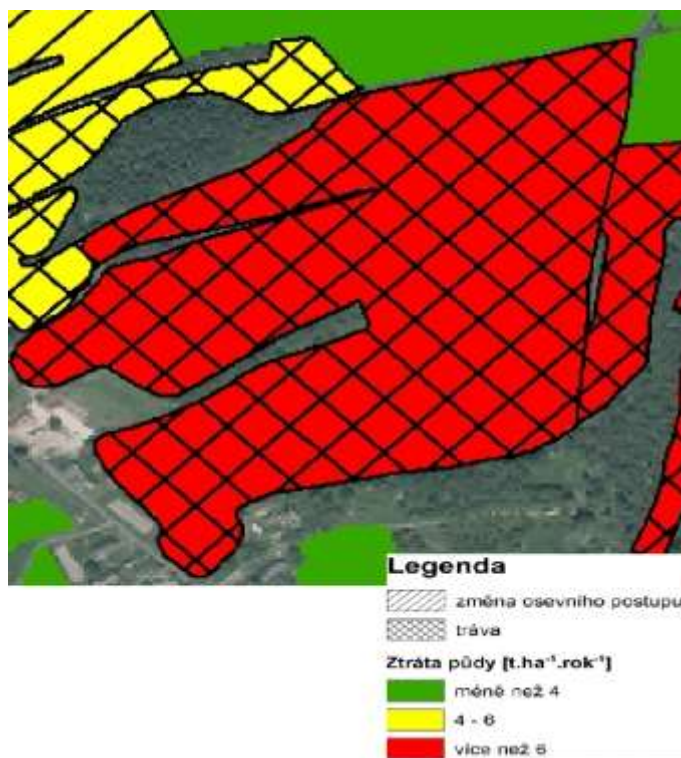
Legenda	
	změna osevního postupu
	tráva
Ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	
	méně než 4
	4 - 6
	více než 6

Obr. 33: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 3 – k. ú. Horní Rokytá

Jedná se o plochu 4,93 ha, která se nachází na severozápadě katastrálního území Horní Rokytá. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek nepostačí změna protierozního osevního postupu a tak jsem navrhl celou plochu zatravnit:

Náklady nutné k zatravnění plochy 4,93 ha činí 59 160,- Kč. Zároveň se jedná o celkovou částku protierozního opatření pro výše specifikovanou oblast.

Půdní blok ohrožený erozí č. 4



Obr. 34: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 4 – k. ú. Horní Rokytá

Jedná se o plochu 21,07 ha, která se nachází na severozápadě katastrálního území Horní Rokytá. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek nepostačí změna protierozního osevního postupu a tak jsem navrhl celou plochu zatravnit:

Náklady nutné k zatravnění plochy 21,07 ha činí 252 840,- Kč. Zároveň se jedná o celkovou částku protierozního opatření pro výše specifikovanou oblast.

Půdní blok ohrožený erozí č. 5



Obr. 35: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 5 – k. ú. Horní Rokytá

Jedná se o plochu 19,89 ha, která se nachází na středozápadě katastrálního území Horní Rokytá. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek nepostačí změna protierozního osevního postupu a tak jsem navrhl celou plochu zatravnit:

Náklady nutné k zatravnění plochy 19,89 ha činí 238 680,- Kč. Zároveň se jedná o celkovou částku protierozního opatření pro výše specifikovanou oblast.

Půdní blok ohrožený erozí č. 6

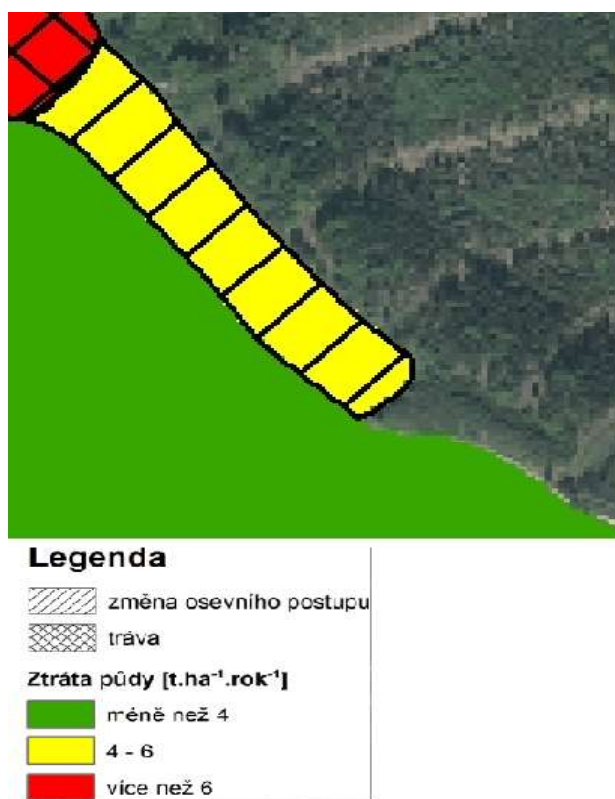


Obr. 36: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 6 – k. ú. Horní Rokytá

Jedná se o plochu 4,38 ha, která se nachází na středo-východě katastrálního území Horní Rokytá. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek nepostačí změna protierozního osevního postupu a tak jsem navrhl celou plochu zatravnit:

Náklady nutné k zatravnění plochy 4,38 ha činí 52 560,- Kč. Zároveň se jedná o celkovou částku protierozního opatření pro výše specifikovanou oblast.

Půdní blok ohrožený erozí č. 7



Obr. 37: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 7 – k. ú. Horní Rokytá

Jedná se o plochu 2,51 ha, která se nachází na severozápadě katastrálního území Horní Rokytá. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek postačí změna protierozního osevního postupu:

k. ú. Horní Rokytá	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Pšenice ozimá	7,8	4000	2,51	19,578	78312
	Řepka ozimá	4	9 000	2,51	10,04	90360
	Žito ozimé	6,3	3700	2,51	15,813	58 508
	Pelouška jarní	3,6	4300	2,51	9,036	38854,8
					SUMA	266034,9

Tab. 20: Současný osevní postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 7 v k. ú. Horní Rokytá

k. ú. Horní Rokytá	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Jetel plazivý	8	4000	2,51	20,08	80320
	Pšenice ozimá	7,8	4 000	2,51	19,578	78331,578
	Kukuřice siláž	30	800	2,51	75,3	60240
	Ječmen jarní	5,5	4000	2,51	13,805	55220
					SUMA	274111,578

Tab. 21: Nový protierozní osevní postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 7 v k. ú. Horní Rokytá

Při aplikaci tohoto protierozního opatření se odnos půdy sníží pod $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Tímto konstatuji, že navržené protierozní opatření je dostačující. V rámci ekonomického zhodnocení nového protierozního osevního postupu dojde k přebytku ve výši 8 076,678 Kč.

Půdní blok ohrožený erozí č. 8



Obr. 38: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 8 – k. ú. Horní Rokytá

Jedná se o plochu 3,69 ha, která se nachází na středo-východě katastrálního území Horní Rokytá. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek nepostačí změna protierozního osevního postupu a tak jsem navrhl celou plochu zatravnit:

Náklady nutné k zatravnění plochy 3,69 ha činí 44 280,- Kč. Zároveň se jedná o celkovou částku protierozního opatření pro výše specifikovanou oblast.

Půdní blok ohrožený erozí č. 9



Obr. 39: Protierozní opatření na půdním bloku ohroženém vodní erozí č. 9 – k. ú. Horní Rokytá

Jedná se o plochu 1,81 ha, která se nachází na západě katastrálního území Horní Rokytá. V tomto případě pro snížení účinku vodní eroze na půdní celek postačí změna protierozního osevního postupu:

k. ú. Horní Rokytá	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Pšenice ozimá	7,8	4000	1,81	14,118	56472
	Řepka ozimá	4	9 000	1,81	7,24	65160
	Žito ozimé	6,3	3700	1,81	11,403	42 191
	Pelůška jarní	3,6	4300	1,81	6,516	28018,8
					SUMA	191841,9

Tab. 22: Současný osevní postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 9 v k. ú. Horní Rokytá

k. ú. Horní Rokytá	Plodina	průměrný výnos t/ha	Výkupní ceny kč/t	Výměra orné půdy ha	Výnos plodin t	Výnos z plodiny Kč
	Jetel plazivý	8	4000	1,81	14,48	57920
	Pšenice ozimá	7,8	4 000	1,81	14,118	56486,118
	Kukuřice siláž	30	800	1,81	54,3	43440
	Ječmen jarní	5,5	4000	1,81	9,955	39820
					SUMA	197666,118

Tab. 23: Nový protierozní osevní postup – na půdním blok ohroženém erozí č. 9 v k. ú. Horní Rokytá

Při aplikaci tohoto protierozního opatření se odnos půdy sníží pod 4 t.ha⁻¹.rok⁻¹. Tímto konstatují, že navržené protierozní opatření je dostačující. V rámci ekonomického zhodnocení nového protierozního osevního postupu dojde k přebytku ve výši 5 824,218 Kč.

6 Diskuze

Podle výpočtů provedených v aplikaci ArcGis, které stanoví průměrnou dlouhodobou ztrátu půdy neboli faktor G, dle rovnice USLE (Wishmeier, Smith 1978), není ohrožena ani třetina zájmového území vodní erozí. Katastrální území Horní a Dolní Krupá jsou po zavedení nového osevního postupu zcela bez následků vodní eroze, ovšem může na to mít vliv i to, že historicky bylo provedeno technické protierozní opatření, které se zachovalo do dnes (Jan Pokorný, 2018, in verb.).

V případě Horní Rokyty a Horní Bukoviny je potřeba zatravnit především plochy, které ve výpočtech ukazují dlouhodobou ztrátou půdy vodní erozí 6 a více $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$. Dále jsem k těmto plochám přiřadil i plochy, u kterých se hranice ztráty půdy vodní erozí přesáhla přes 5 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$.

Celkově jsem řešil zájmové území o velikosti 1109,2 ha. Z této plochy bylo 135,4 ha ovlivněno dlouhodobou ztrátou půdy vodní erozí. Dále jsem z této plochy navrhl zatravnit 54,3 ha, což znamená, že nově zvolený protierozní osevní postup vyřešil erozi na ploše 81,1 ha. Právě díky vhodně zvolenému protieroznímu osevnímu postupu se hospodaření může dostat do přebytku, tak jako tomu je u řešených ploch. V osevních postupech bylo třeba definovat plodiny, které jsou vhodné pro zdejší suchou a kyselou půdu. Podle mně dostupných informací jsem si zvolil plodiny Jetel plazivý, Pšenice ozimá, Kukuřice sklizenou siláž a Ječmen jarní.

Zatravnění je efektivní ochrannou protierozní metodu, kterou popisuje Janeček a kol. (2008) jako opatření na pozemcích, kterou z hlediska ztráty půdy erozí nelze využívat jako ornou půdu. Proto je nejlepší protierozní ochranou, což se projevilo v rámci výpočtů na jednotlivých územních celcích, kde bylo ochranné zatravnění navrženo. Z pohledu multifunkčního zemědělství, jsou trvalé travní porosty zvláště významnou kulturou využívající zemědělskou půdu a chránící biodiverzitu (Šarapatka, 2002).

Z hlediska ekonomického se vyplatilo zvolit výše zmíněný protierozní osevní postup, který by měl po zavedení vydělat hospodáři zhruba 258 371, 036 Kč, ovšem když k tomu přičteme náklady na zatravnění navržených ploch, což činí – 830 520,- Kč, tak jsme na nákladech 572 148,964 Kč. V tomto případě je potřeba přehodnotit, jestli je adekvátní vyřešit negativní účinky vodní eroze na ploše 135,4 ha za celkovou částku 572 148, 964 Kč. Když provedeme

jednoduchý matematický výpočet, tak zjistíme, že se jedná o nákladech v průměru 4225 Kč/1ha. Dle mého názoru se toto řešení vyplatí.

7 Závěr

Má diplomová práce se zabývala využitím vhodných konvenčních protierozních metod, které vedou ke stabilizaci erozních poměrů v katastrálních územích Horní Krupá, Dolní Krupá, Horní Rokytá a Horní Bukovina. Řešené území mělo velikost orné půdy 1109,2 ha, ze které bylo vypočítané ohrožení vodní erozí na 135,4 ha.

Na řešeném území jsem nejprve vypočítal dlouhodobou průměrnou ztrátu půdy, pomocí rovnice USLE (Wishmeier, Smith 1978). Po získání současného osevního postupu, bylo těmito výpočty prokázáno minimální ohrožení (téměř 13%). Na těchto 13% půdy se místy objevovali ložiska působení eroze, kde odnos půdy dosahoval více jak $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ (přípustná hodnota stanovená dle BPEJ na 4 t/ha/rok). Proto jsem zvolil nový protierozní postup, který situaci vyřešil. Zmíněná místa, kde eroze dosahovala vyšších hodnot, byla vyčleněna k zatravnění.

Tato práce nestanovuje návrh technických opatření proti vodní erozi, protože tento druh území to nevyžaduje. Velice pozitivní výsledky vzešly v k. ú. Horní a Dolní Krupá, kde nebylo potřeba počítat žádné protierozní opatření. U ploch, které jsou na území Horní Rokytá a Horní Bukovina bylo řešeno již zmíněných 13% celého zájmového území orné půdy. Na této ploše je vyčleněno 54,3 ha do ploch zatravnění a 81,1 ha k změně protierozního osevního postupu. Zároveň by se mělo jednat o opatření, která budou ekonomicky nenáročná, ve vztahu k hospodáři a majiteli území, což dle mého výpočtu při nákladu zhruba 4225 Kč/ha, zcela nepochybně jsou.

8 Literatura

- **BROWNING G. M., PARISH, C. L., GLASS J. A. 1947:** Method for Determining the Use and Limitations of Rations and Coservation. Practices in Centrol of Soil Erosion in Iowa. J. Am. Soc. Agro. Roč. 39., str. 65-73.
- **DOLEŽAL P. (ed) 2010:** Metodický návod k provádění pozemkových úprav. Mze – ÚPÚ Praha.
- **EROZE.SWEB, 2006:** Vodní eroze. Důsledky vodní eroze. Online: eroze.sweb.cz/dusledky.htm
- **FIALA J. 1999:** Jetelovinotravní směsi luční, pastevní a na orné půdě. Ústav zemědělských a potravinářských informací, 41 s., ISBN 80-7271-028-1.
- **FULAJTÁR E., JÁNSKÝ J. 2001:** Vodní erózia pody a protierozná ochrana. Bratislava: VÚPOP, 310 s., ISBN 80-85361-85-X.
- **FOSTER A. B. 1973:** Approved practices in soil conservation. The interstate printers a Publishere, Inc., Danville, Illinois, USA, 497 s.
- **FLORKIN, M., Sheer, B., T. 1972:** Chemical zoology. - Volume 7, Mollusca. Academic Press, New York, London, 567 pp., strana 105
- **HONSOVÁ D. 2006:** Picninářsky nevyužívané travní porosty: Aktuální problémy v České republice. Online: http://www.agris.cz/zemedelstvi?id_a=151554
- **HOLÝ M. 1994:** Eroze a životní prostředí, vydavatelství ČVÚT. Praha. 383 s.
- **HOLÝ M. 1978:** Protierozní ochrana. Praha, SNTL, 288 s.
- **CHOMANIČOVÁ A. 1988:** Prýčina erózie a nevhodnější spôsoby protieroznej ochrany pod na flyšovycch substrátov. Výzkumná správa. VÚPOP. Bratislava.
- **JANEČEK M. (ed.) 2012:** Ochrana zemědělské půdy před erozí. Česká zemědělská univerzita. Praha. 113 s., ISBN 978-80-87415-42-9
- **JANEČEK M. (ed.) 2008:** Základy erodologie. Powerprint – Česká zemědělská univerzita, Praha. ISBN 978-80-213-1842-7.
- **JANEČEK, M. (ed.) 2007:** Metodika – Ochrana zemědělské půdy před erozí. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., ISBN 978-80-254-0973-2.
- **JANEČEK M. (ed.) 2005:** Ochrana zemědělské půdy před erozí. Vyd. 2. Praha: ISV nakladatelství. 195 s. ISBN 80-86642-38-0.
- **JANEČEK M. (ed.) 2002:** Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV Nakladatelství. Praha. 201 s. ISBN 85866-85-8.
- **KAVKA P., DOSTÁL, T. 2011:** Ochrana a organizace povodí. Eroze a protierozní ochrana. Online: http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/yhmh/YHMH_2011_2_PEO1xx.pdf, cit. 22.7.2017
- **KOZLOVSKY DUFKOVÁ J. 2009:** Stanovení ohroženosti půdy vodní erorozí. Online: http://www.dufkova.kozlovsky.eu/files/PROOP%20AF/Cviceni/PROOP_CV_01.pdf
- KOZLÍK, V., MALIŠ, O., ALENA, F. (1961):** Ochrana pôdy před vodnou eróziou. SVPL,

Bratislava, 233 s.

- **LOW J., MÍCHAL I. 2003:** Krajinný ráz. Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy. 552 s.
- **MLÁDEK J., PAVLŮ V., HEJCMAN M., GAISLER, J. 2006:** Pastva jako prostředek údržby trvalých travních porostů v chráněných území. VÚRV Praha, 104 pp.
- **MORGAN R. C. P. 2005:** Soil erosion and conservation. Oxford: Blackwell Science Ltd. A Blackwell Publishing company. 310 s., ISBN 1-4051-1781-8.
- **MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2011:** Mze příručka ochrany proti vodní erozi. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2011, 56 s., ISBN 978-80-7084-996-5.
- **MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2012:** Situační a výhledová zpráva Půda – prosinec 2012. Online: http://eagri.cz/public/web/file/181775/Zprava_Puda_kniha_web_1_.pdf
- **MITÁŠ L, MITÁŠOVÁ H. 1998:** Distributed erosion modeling for effective erosion prevention. Water resources research. 34(3):505–516.
- **NEITSCH S. L., ARNOLD J. G., KINIKY J. R., WILLIAMS J. R. 2009:** Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation – version 2009. Soil and Water Research Laboratory. Agricultural Research services, US Department of Agriculture.
- **OPŽP. 2015:** Návrhy opatření. Online: <http://www.vodavkrajine.cz/index.php/navrhy-opatreni/opatreni/8/0>
- **PASÁK V. (ed.) 1984:** Ochrana půdy před erozí. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 161 s. ISBN 3576-07-003-84
- **PETRANEK J., SYNEK J. 2007:** Geologická encyklopedie, půda. Online: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?puda>
- **PODHRÁZSKÁ J., DUFKOVÁ J. 2005:** Protierozní ochrana půdy. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 95 s. ISBN 80-715-7856-8.
- **QUITT E. 1971:** Klimatické oblasti Československa. Studia geographica 16, geografický ústav ČSAV. Brno.
- **RENARD K. G. et al. 1997:** Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised USLE, USDA, ARS, Agriculture handbook No 703, s. 384.
- **ROOD D. 2015:** Hello people, good by soil. Online: <http://www.uvm.edu/~uvmpr/?Page=news&storyID=19904>
- **SKLENIČKA P. 2003:** Základy krajinného plánování. Praha. 321 s., ISBN 80-9032-061-9.
- **STEHLÍK O. 1981:** Vývoj eroze půdy v ČSR. Geologický ústav ČSAV, Brno, 44 s.
- **SMITH D. D. 1941:** Interpretation of Soil conservation Data for Field Use. Arg. Eng. Roč. 38., str. 422-425.
- **ŠARAPATKA B., DLAPA, P., BEDRNA, Z. 2002:** Kvalita a degradace půdy, Univerzita Palackého, Olomouc, 246 s.
- **ŠARAPATKA B. 2010:** Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření, Bioinstitut, o. p. s., Olomouc, ISBN 978-80-87371-10-7.

- **TAKKEN I., et al. 2001:** Geomorphology. The effect of tillage induced roughness on runoff and erosion patterns, 37, 205- 214 s.
- **TOY T. J., FOSTER G. R., RENARD K. G. 2001:** Soil erosion. Processes, Prediction, Measurement, and Control. 325 s., John Wiley & Sons, Inc., New York, ISBN 0-471-38369-4
- **VAŠKŮ Z. 2002:** Hodnocení vodní eroze půdy v rámci podrobného pedologického průzkumu. In: Borůvka L., (ed): Pedologické dny 2002 (sborník konference). ČZÚ, Praha, s. 115-121
- **VÚMOP 2011:** eKatalog BPEJ. Online: http://www.vumop.cz/sites/File/prirucka_eroze.pdf
- **VÚMOP 2017:** Monitoring eroze zemědělské půdy – GAEC2. Online: <http://me.vumop.cz/mapserv/monitor/>
- **WEBER J. 2001:** Organic substance in soil. Online: http://www.humintech.com/001/articles/article_definition_of_soil_organic_matter.html
- **WISCHMEIER W. H, SMITH D. H. 1978:** Prediction rainfall erosion losses. Maryland. Sla USDA Hyatsville.
- **WILLIAMS J. R., BERNDT H. D. 1972:** Sediment yield computed with universal equation. J. of the Hydraulic division. Prac. Of the Am. Soc. of Civil Engineering. HY, 2087-2092.
- **ZACHAR D. 1982:** Soil erosion. Development in soil science vol. 10. Bratislava. 522 s., ISBN 0-444-99725-3
- **ZDRAŽIL K. 1965:** Ekonomika hodnocení protierozní ochrany. ÚVTI MZL VM, Praha.
- **ZINGG A. W. 1940:** Degree and Length of Land Slope as it Affects Soil Loss in Runoff. Roč. 21, str. 59-64

Přílohy diplomové práce:

1. Tabulka osevních postupů pro jednotlivá katastrální území
2. Výpočty dlouhodobé průměrné ztráty půdy dle rovnice USLE (G)
 - k. ú. Horní Bukovina
 - k. ú. Horní Krupá a k. ú. Dolní Krupá
 - k. ú. Horní Rokytá
3. Vypočítaná průměrná ztráta půdy pro jednotlivé půdní bloky katastrálního území Horní Bukovina
4. Vypočítaná průměrná ztráta půdy pro jednotlivé půdní bloky katastrálních území Horní Krupá a Dolní Krupá
5. Vypočítaná průměrná ztráta půdy pro jednotlivé půdní bloky katastrálního území Horní Rokytá
6. Celkový rast s návrhem protierozních opatření pro celé zájmové území
7. Výsledný rastr po zavedení příslušných protierozních osevních postupů a zatravnění