

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra biotechnických úprav krajiny



**Řešení erozní ohroženosti zemědělských pozemků
v katastrálním území obce Bratronice u Kladna
(Středočeský kraj)**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí diplomové práce: Ing. Blanka Kottová, Ph.D.

Vypracoval: Bc. Jan Semrádek

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Semrádek

Regionální environmentální správa

Název práce

Řešení erozní ohroženosti zemědělských pozemků v katastrálním území obce Bratronice u Kladna (Středočeský kraj)

Název anglicky

Study of erosion vulnerability of an agricultural lands in cadastral area of village Bratronice u Kladna (Central Bohemian region)

Cíle práce

Cílem práce je zhodnocení erozní ohroženosti zemědělských pozemků v katastrálním území obce Bratronice u Kladna s využitím metod USLE, RUSLE a USPED a stanovení protierozních opatření včetně vyhodnocení jejich účinnosti a vyhodnocení finanční náročnosti.

Metodika

Diplomová práce bude mít charakter studie. Autor zpracuje podrobnou literární rešerši zahrnující danou problematiku (eroze vodní i větrná, metody hodnocení, možnosti protierozních opatření atd.). Na základě vyhodnocení erozní ohroženosti metodami USLE, RUSLE a USPED a terénního šetření budou navržena vhodná protierozní opatření (opatření biotechnického, agrotechnického či organizačního charakteru). Budou stanoveny přesné parametry a vyhodnocena jejich účinnost. V neposlední řadě pak také finanční náročnost realizace těchto opatření a možnosti finančního zabezpečení.

Výsledky budou zpracovány v textové a grafické podobě a doplněny fotodokumentací.

Doporučený rozsah práce

dle Nařízení děkana č.03/2017 – Metodické pokyny pro zpracování diplomové práce na FŽP

Klíčová slova

erozní ohroženost, degradace půdy, protierozní opatření

Doporučené zdroje informací

- Blanco-Canqui, H., Lal, R., 2008: Principles of Soil Management and Conservation. Springer.
- Brychta, J., Petrů, J., 2016: Základy hodnocení vodní eroze pomocí GIS, Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Dostál, T., a kol., 2014: Využití dat a nástrojů GIS a simulačních modelů k navrhování TPEO, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.
- FŽP, 2017: Metodické pokyny pro zpracování DP na FŽP.
- Holý, M., 1994. Eroze a životní prostředí. Vydavatelství ČVUT, Praha, 383 stran
- Janeček, M., a kol., 2008: Základy erodologie, Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Kadlec, V., a kol., 2014: Navrhování technických protierozních opatření, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.
- Morgan, R. P. C., 2005: Soil erosion and conservation. Blackwell, Oxford.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Blanka Kottová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 14. 12. 2017

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 12. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 17. 04. 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Řešení erozní ohroženosti zemědělských pozemků v katastrálním území obce Bratronice u Kladna (Středočeský kraj) vypracoval samostatně pod vedením Ing. Blanky Kottové Ph.D., další informace mi poskytl Ing. Jan Petrů, a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal. Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 17. 4. 2018

.....

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval především vedoucí mé diplomové práce Ing. Blance Kottové Ph.D. za trpělivost a čas, který mi věnovala při zpracování této práce. Dále bych chtěl velmi poděkovat Ing. Janu Petřů za ochotu a cenné rady při zpracování praktické části této práce. Také bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během celého studia.

Abstrakt

Půda jakožto jedna z hlavních složek biosféry je nepostradatelným, omezeným přírodním zdrojem a základním výrobním prostředkem v zemědělství a lesnictví. Funkce půdy jsou však ohrožovány řadou procesů, zejména vodní a větrnou erozí.

V této práci byla analyzována ohroženost zemědělských pozemků v katastrálním území Bratronice u Kladna působením vodní eroze. Erozní ohroženost byla vyhodnocena dle Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí - USLE. Výsledný výpočet byl proveden v programu ArcGIS.

Bylo zjištěno zvýšené erozní ohrožení u 14 zemědělských pozemků. Na těchto pozemcích ohrožených vodní erozí byla navržena vhodná protierozní opatření organizačního a agrotechnického charakteru, konkrétně osevní postup a vrstevnicové obdělávání.

Klíčová slova: erozní ohroženost, protierozní opatření, degradace půdy, USLE, GIS

Abstract

Soil as one of the main components of the biosphere is an indispensable, limited natural resource and an essential means of production in agriculture and forestry. Soil functions are threatened by a number of processes, especially water and wind erosion.

In this thesis, the endangerment of agricultural land by water erosion in the cadastral area of Bratronice u Kladna was analyzed. Erosion threat has been evaluated according to the Universal Pattern for the Calculation of Long-Term Erosion Loss - USLE. The final calculation was performed in ArcGIS.

An increased erosion risk was found in 14 agricultural parcels. On these parcels threatened by water erosion, appropriate erosion measures of organizational and agrotechnical character, namely crop rotation and contour tillage, have been proposed.

Key words: erosion threats, anti-erosion measures, soil degradation, USLE, GIS

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíle práce.....	10
3. Literární rešerše.....	11
3.1 Eroze půdy	11
3.2 Druhy eroze.....	12
3.2.1 Vodní eroze.....	12
3.2.2 Větrná eroze.....	13
3.3 Ochrana půdy proti vodní erozi.....	14
3.3.1 Organizační opatření proti vodní erozi.....	15
3.3.2 Agrotechnická protierozní opatření.....	18
3.3.3 Technická protierozní opatření.....	22
3.4 Způsoby hodnocení eroze.....	30
3.4.1 USLE.....	30
3.4.2 RUSLE	31
3.4.3 USPED.....	32
4. Charakteristika studijního území.....	35
4.1 Klimatické poměry.....	35
4.2 Hydrologické poměry.....	36
4.3 Geologické a geomorfologické poměry.....	36
4.4 Půdní poměry.....	37
5. Metodika.....	39
5.1 Použitá data.....	40
5.2 Výběr pozemků.....	40
5.3 Digitální model terénu.....	41
5.4 Faktor LS.....	45
5.5 Faktor R.....	47
5.6 Faktor K.....	47
5.7 Faktor C.....	49

5.8 Faktor P.....	51
6. Současný stav řešené problematiky.....	53
7. Výsledky.....	56
8. Diskuse	60
9. Závěr a přínos práce.....	63
10. Přehled literatury a použitých zdrojů.....	64
11. Přílohy.....	69

1. Úvod

Půda představuje jednu z hlavních složek biosféry a je nepostradatelným a omezeným přírodním zdrojem. Nejen pro člověka, ale i pro ostatní živočichy vytváří nenahraditelný zdroj obživy, který je základní součástí potravního řetězce (Holý 1994). Půda má široký rozsah funkcí a je základním výrobním prostředkem v zemědělství a lesnictví. Půda je však ohrožována celou řadou procesů, které vedou k omezení nebo až ztrátě schopnosti půdy plnit své základní produkční a mimoprodukční funkce. Těmito procesy jsou zejména vodní a větrná eroze, acidifikace, utužování, znečištění a úbytek organické hmoty. Nejrozšířenějším typem degradace je vodní eroze (MZe 2017).

Negativní působení eroze spočívá v odnosu organických a minerálních částic půdy z erodovaných ploch a jejich následném ukládání na jiných místech. Eroze způsobuje mnohamilionové škody v intravilánech měst a obcí. Při transportu částic půdy také dochází k zanášení vodních toků a vodních nádrží, což je velmi často spojeno s přísunem nadměrného množství živin a rizikových látek do vodního prostředí (Janeček et al. 2012).

V České Republice je více než 50 % zemědělské půdy ohroženo vodní erozí a více než 10 % ohroženo větrnou erozí. Za posledních 30 let se degradace půdy vlivem eroze výrazně zrychlila. Hlavní příčinou je zejména intenzifikace zemědělství a změna preferencí pěstování některých plodin (MZe 2017).

Existuje mnoho prokazatelných způsobů jak zemědělské pozemky chránit před negativními vlivy eroze. Jsou to především protierozní opatření organizačního, agrotechnického a technického charakteru. Cílem těchto opatření je snížení celkového množství degradované půdy a zároveň předcházení vzniku škod způsobených erozními procesy (Janeček et al. 2012).

2. Cíle práce

Cílem práce je zhodnocení erozní ohroženosti zemědělských pozemků v katastrálním území obce Bratronice u Kladna s využitím metody USLE a stanovení protierozních opatření včetně vyhodnocení jejich účinnosti.

3. Literární rešerše

3.1 Eroze půdy

Eroze půdy představuje třífázový proces, při kterém je narušována svrchní část zemského povrchu prostřednictvím působení erozních činitelů, zejména vody a větru. V rámci tohoto procesu dochází k rozrušování půdy, odnosu půdních částic a jejich následné sedimentaci. Tento proces probíhá v přirozených podmínkách velmi pomalu, téměř nepozorovatelně. Díky lidské činnosti, především intenzifikaci zemědělství, se však proces narušování a odnosu půdy výrazně zrychlil, což způsobuje řadu nepříznivých důsledků (Holý 1994).

Jedním z důsledků eroze je celková degradace půdy. Jde o soubor procesů, které vedou k znehodnocení a omezení funkcí půdy (Voltr 2011). Jedná se například o ztrátu organické hmoty, kdy dochází k odnosu svrchní vrstvy ornice, která je nejurodnější. Snižuje se tak mocnost ornice a obsah humusu v půdě, tudíž se snižuje i produkční schopnost půdy. Dochází také ke změně fyzikálně - chemických vlastností půdy (Janeček et al. 2008). Takto postižené půdy je pak nutné zpětně zúrodnit zvýšeným hnojením, což má za následek vyšší časově a finančně náklady na pěstování plodin (Lal 2001).

Degradace půdy je způsobena také jejím zhutněním. Zhutnění půd je důsledkem uplatňování nevhodných intenzifikačních opatření, jako je například nedostatečný přísun organické hmoty do půdy, používání těžké zemědělské techniky nebo neúměrné dávky minerálních hnojiv. Nadměrné zhutnění půdy zhoršuje půdní prostředí a využití živin rostlinami a zvyšuje energetickou náročnost při zpracování půdy. U zhutněných půd je zpomalena a omezena infiltrace vody do půdy, což způsobuje zvýšený povrchový odtok. Zároveň se snižuje retenční schopnost půdy a urychluje se vysychání půdy (Javůrek a Vach 2008).

Odnos půdních částic z erodovaných půd do vodních zdrojů je také značný problém. S půdními částicemi jsou odnášeny i chemické látky splavené z půd, které nepříznivě ovlivňují povrchové i podpovrchové vody (Holý 1994). Jedná se zejména o vysoký obsah dusíku a fosforu, který ve vodních nádržích způsobuje eutrofizaci a negativně ovlivňuje vodní organismy a kvalitu vody. Usazené sedimenty v tocích snižují průtočnou kapacitu. V období zvýšených srážek pak může u takto postižených toků docházet k povodním (Holý 1994). Snížená kapacita koryt vodních toků pak musí být obnovována vytěžením sedimentů (Robinson 1973).

3.2 Druhy eroze

Mezi nejvýznamnější druhy eroze, vyskytujících se na území České Republiky, patří vodní a větrná eroze. Tyto druhy eroze se mohou vyskytovat samostatně nebo se vzájemně ovlivňovat (Holý 1994).

3.2.1 Vodní eroze

Při vodní erozi dochází k narušování zemského povrchu kapkami deště, povrchovým odtokem nebo stojatou a podzemní vodou (Zachar 1970; Janeček et al. 2008). K narušení půdy dochází působením kinetické energie dešťových kapek nebo mechanické síly vody stékající po povrchu půdy. Podle formy se vodní eroze dělí na plošnou, výmolovou a proudovou (Holý 1994).

Při plošné erozi je půda erodována rovnoměrně po celé ploše (nebo větší části) svahu. Z této plochy jsou zplavovány především částice jemnozrnné, které se následně usazují v dolní části svahu. Dochází tak k postupnému snižování půdního profilu, který může při extrémních podmínkách zcela zmizet (Janeček et al. 2008). Plošnou erozí jsou postihnuty téměř všechny pozemky orné půdy na svazích (Stankoviansky et al. 2008).

Výmolná eroze je způsobena postupným soustředováním vody stékající po povrchu a následným vymíláním mělkých rýh, které se postupně prohlubují. Vyskytuje se v členitém terénu a na dlouhých svazích. Výmolná eroze může v extrémních případech vytvářet strže, jejichž příčný profil může být v řádu metrů (Obr.1) (MZe 2017).



Obr.1: Strž vytvořená výmolnou erozí (MZe 2017)

Proudová eroze probíhá ve vodních tocích působením síly vodního proudu. Proudová eroze se rozlišuje na dnovou a břehovou, podle toho zda je narušováno dno nebo břeh koryta vodního toku. Působení proudové eroze je znatelné zejména v bystřinách, neboť má zde voda velkou kinetickou energii a vysoký obsah splavenin (Holý 1994).

3.2.2 Větrná eroze

Větrná eroze je fyzikální jev a je ovlivňována fyzikálními vlastnostmi půdy. Větrnou (eolickou) erozí se nazývá proces, kdy je povrch půdy narušován mechanickou silou větru. Narušené půdní částice jsou odnášeny na jiná místa, kde následně dochází k jejich akumulaci (Pasák 1966). Pohyb půdních částic se dělí na tři druhy: suspenze (nejjemnější půdní částice), saltace (půdní částice o takové hmotnosti, kdy pomocí větru dochází k jejich skokovému pohybu) a valení částic po povrchu půdy (půdní částice o větší hmotnosti). Hrubozrnné částice, které jsou silou větru odnášeny po povrchu, tvoří erozi posuvnou. Ta má za následek vznik písčiny přesypů. Naopak nejjemnější půdní částice jsou odnášeny v podobě prašných bouří do výše mraků. K usazení částic může dojít až na kilometrové vzdálenosti od místa odnosu částic (Dufková 2007).

Účinky větrné eroze mají za následek ztráty v zemědělském sektoru (odnos osiva, ornice a hnojiv). Uvolněné jemné půdní částice znečišťují ovzduší a zanáší

vodní toky, komunikace a jiné objekty (Janeček et al. 2008). Erozní síla větru je výrazně nižší než síla vody, z toho důvodu jsou větrem unášeny jen drobné úlomky hornin a lehkých půd (Blažková 1996). Odváté půdní částice mohou přeseknout drobné stonky mladých rostlin. Větrná eroze snižuje jak produktivitu půdy, tak i schopnost půdy vázat uhlík z atmosféry (Tisdall et al. 2003).

V současné době je větrnou erozí ohroženo přibližně 10 % orných půd na území České Republiky. Jsou to především lokality s častými proměnlivě a silně vanoucími větry, nižším ročním úhrnem srážek (<550mm), oblasti s lesnatostí nižší než 20 % a také oblasti s výskytem lehkých písčitých a hlinitopísčitých půd (Pasák 1994). Bylo zjištěno, že 90 % větrné eroze se vyskytuje na půdách kultivovaných (Dufková 2007). Největší škody zde působí větrná eroze především v době, kdy je povrch půdy holý a rychle vysychá, tedy koncem zimy a na jaře (Pasák 1990).

Trvalým a účinným opatřením před větrnou erozí, jsou opatření ke snížení rychlosti větru - pásy dřevinné vegetace (větrolamy), pěstování plodin s různou výškou, mulčování povrchu půdy, udržování rostlinného krytu na pozemku po co nejdelší část roku, ochranné lesní pásy (Šarapatka 2014).

3.3 Ochrana půdy proti vodní erozi

Zemědělskou půdu, zejména na svazích, je nutné chránit před vznikem a působením vodní eroze. Protierozní ochrana slouží především k ochraně úrodnosti zemědělské půdy a také chrání před negativními důsledky vodní eroze intravilány měst a obcí, vodní zdroje, chráněné přírodní útvary, dopravní komunikace a jiné stavby (Janeček et al. 2008).

Hlavním účelem opatření proti vodní eroze je ochrana půdy před účinky dešťových kapek, podpora vsaku vody do půdy, zlepšení soudržnosti půdy, omezení unášecí síly vody a soustředěného povrchového odtoku (Janeček et al. 2008). Protierozní opatření plní i funkci vodohospodářskou, neboť slouží k neškodnému odvedení povrchových vod a ochraně území před záplavami. Jsou to například nádrže, úpravy toků, odvodnění, ochranné hráze, suché poldry a podobně. Opatření proti erozi slouží také k ochraně a tvorbě životního prostředí a zvýšení ekologické

stability. V případě, že jsou protierozní opatření realizována jako terénní úpravy v kombinaci s doplněním prvků zeleně, mohou v krajině plnit i funkci estetickou a orientační (Zákon č. 139/2002 Sb.).

Vhodnost použití jednotlivých způsobů ochrany závisí na jejich účinnosti, požadovaném snížení smyvu půdy a nutné ochraně objektů ohrožených vodní erozí. Zároveň musí být respektovány zájmy uživatelů a vlastníků půdy, životního prostředí a ochrany přírody a tvorby krajiny. Opatření proti vodní erozi by měla být vždy navržena a realizována na základě odborně zpracovaných projektů pozemkových úprav. Návrh protierozní ochrany vychází z průzkumu, kterým se získávají podklady k posouzení hydrologických poměrů řešeného území a stanovení jeho erozní ohroženosti, pro volbu systému protierozní ochrany a návrh jeho prvků. Průzkum současně vytváří předpoklady pro soulad protierozních opatření s pozemkovými úpravami a ostatními vodohospodářskými a ekologickými zásahy a zájmy v krajině. Celý systém protierozních a vodohospodářských opatření je třeba řešit komplexně, aby tato opatření byla navzájem propojena. Pozemkovými úpravami je dosaženo optimálního prostorového a funkčního uspořádání pozemků a také k vytvoření podmínek pro aplikaci protierozních opatření. Ve většině případů se jedná o soubor organizačních, agrotechnických a technických opatření, která se vzájemně doplňují a zároveň respektují současné možnosti a požadavky zemědělské výroby (Janeček et al. 2008).

3.3.1 Organizační opatření proti vodní erozi

Hlavním principem organizačních protierozních opatření je rozložení pozemků delší stranou ve směru vrstevnic, určení vhodného tvaru a velikosti pozemku a zvolení parcel vhodných ke změně druhů pozemků. Organizační opatření jsou při komplexních pozemkových úpravách navrhována tak, aby byla v součinnosti s ostatními protierozními opatřeními. Důležitá je také spolupráce a zájem hospodařících subjektů (Janeček et al. 2012).

K organizačním protierozním opatřením patří:

- Tvar a velikost pozemku
- Delimitace druhu pozemků a ochranné zatravnění a zalesnění
- Protierozní rozmísťování plodin
- Pásové střídání plodin

- **Tvar a velikost pozemku**

Vhodná velikost a tvar pozemku závisí na několika faktorech. Rozměry pozemku jsou v určitých případech výsledkem kompromisu mezi působením faktorů přírodních, pro které je vhodnější tvorba menších pozemků a faktoru ekonomického, který preferuje vytváření dostatečně velkých půdních bloků (Janeček et al. 2012).

Důležitým faktorem je také přípustná délka svahu, která je určena na základě výpočtu přípustné ztráty půdy erozí. Z hlediska protierozní ochrany je vhodné, aby rozměry pozemku ve směru sklonu nepřesahovaly tuto přípustnou délku.

Rozměry pozemku do značné míry ovlivňují místní geografické podmínky a zároveň způsob hospodaření a přístupnost pozemků. Obecně je v rovinných oblastech doporučena tvorba půdních celků o rozloze do 50 ha, ve členitějším terénu 20 ha (Janeček et al. 2012).

- **Delimitace druhu pozemků a ochranné zatravnění a zalesnění**

Hlavním principem delimitace druhu pozemků je funkční a prostorová optimalizace pozemků určených k pěstování jednotlivých kultur. Jde o funkční členění v rámci zemědělského půdního fondu na ornou půdu, louky, pastviny, zahrady, sady, vinice a chmelnice (Janeček et al. 2008).

Na pozemcích, které z důvodu vysokých ztrát půdy způsobených erozí nelze využívat jako ornou půdu, se používá ochranné zatravnění. Toto opatření je z hlediska protierozní ochrany nejefektivnější. Ochranným zatravněním by měly být chráněny zejména plochy podél břehů vodních toků a nádrží, dráhy soustředěného povrchového odtoku a také profily průlehů a těles ochranných hrázek. Ochranné zalesnění se nejčastěji aplikuje jako ochranné lesní pásy nebo plošné zalesnění (Janeček et al. 2012).

- **Protierozní rozmístování plodin**

Rozmístování plodin se určuje podle toho, jaká je jejich protierozní účinnost. Tradičně pěstované plodiny lze seřadit podle jejich protierozní účinnosti od nejvyšší po nejnižší a to v pořadí: travní porosty - jetel - vojtěška - obilnina ozimá - obilnina

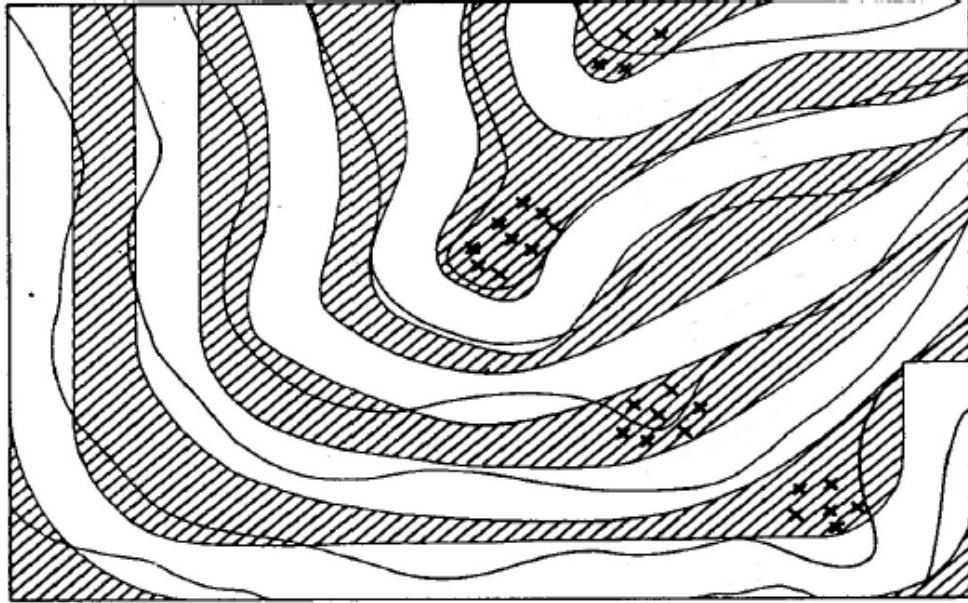
jarní - řepka ozimá - hrách - okopaniny (kukuřice, brambory, cukrovka) (Janeček et al. 2008).

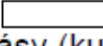
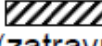
Plodiny, které nedostatečně chrání půdu proti vodní erozi, by se měly pěstovat na rovinných pozemcích nebo pozemcích mírně sklonitých (Janeček et al. 2012). Na svažitéch pozemcích se doporučuje následující rozmístění plodin (Podhrázká a Dufková 2005):

- pozemky mírně ohroženy erozí, sklon do 3°: širokořádkové plodiny, zejména kukuřice a okopaniny, u nichž se používá i agrotechnické protierozní opatření, pokud je svah delší než 300 m. Ostatní plodiny se pěstují obvyklým způsobem.
 - pozemky středně ohroženy erozí, sklon do 7°: úzkořádkové plodiny. S ohledem na dráhy soustředěného odtoku a délky svahu se používají agrotechnická případně technická protierozní opatření.
 - pozemky výrazně ohroženy erozí, sklon do 12°: výhradně úzkořádkové plodiny za použití bezorebného setí meziplodin a minimálního zpracování půdy ve speciálních osevních postupech s vysokým podílem víceletých píceň.
 - pozemky, u nichž je sklon svahu větší než 12°, se zatravňují.
 - pozemky se sklonem svahu nad 17° se zalesňují.
-
- **Pásové střídání plodin**

Střídáním pásů plodin chránících půdu s pásy plodin s nedostatečným protierozním účinkem, lze výrazně snížit ztrátu půdy způsobenou vodní erozí. Šířka pásů závisí na propustnosti a náhynosti půdy k erozi, délce a sklonu svahu a na šířce záběru zemědělských strojů.

Pásové jsou realizovány podél vrstevnic a měly by být uspořádány tak, aby mezi stejně širokými pásy plodin byly umístěny pásy jetelovin nebo travních porostů o různé šířce (Obr. 2). Doporučuje se šířka pásů od 20 do 40 m, počet pásů určuje délka svahu. Pokud je svah příliš dlouhý, je nutné ho rozdělit pomocí příkopů nebo průlehů (Janeček et al. 2008).



 Chráněné plodinové pásy (kukuřice apod.)	 Ochranné pásy (zatravnění nebo ozimá obilnina)
--	--

Obr. 2: Pásové střídání plodin (Janeček 2008)

3.3.2 Agrotechnická protierozní opatření

Agrotechnická protierozní opatření navazují na organizační protierozní opatření. Účelem těchto opatření je především zkrácení času, kdy je půda bez vegetačního pokryvu, jelikož v této době je orná půda nejvíce náchylná k erozi. Slouží také k zlepšení vsakovací schopnosti půdy a k ochraně půdy před přívalovými srážkami.

Jedná se především o půdoochranné technologie pěstování plodin, jako je například ochranné obdělávání půdy, vrstevnicové obdělávání, hrázkování a důlkování (Janeček et al. 2012).

- **Ochranné obdělávání půdy**

Ochranným obděláváním půdy se nazývá systém postupů, při kterých je alespoň 30 % zbytků plodin po sklizni zanechána na půdním povrchu. Jedná se o snižování a slučování operací při obdělávání půdy, kde se místo orby půda pouze kypří kypřiči. Rostlinné zbytky plodin jsou do půdy zapravovány pouze částečně. Na povrchu se tak tvoří mulč (Blanco a Lal 2008).

Výhodou těchto postupů je, že tyto zbytky plodin a vegetace snižují povrchový odtok a také pohlcují energii dopadajících dešťových kapek, které ničí a rozměňují půdní částice. Ponechání rostlinných zbytků také přispívá ke zvýšení vlhkosti, snížení výparu a zlepšení infiltrace vody.

Tento způsob obdělávání má však i řadu nevýhod. Zvyšuje se pravděpodobnost zaplevelení a s tím spojené náklady na použití herbicidů. Také může dojít k rozšíření chorob a škůdců u rostlin. V neposlední řadě také potřeba výkonnějších a dražších bezorebných secích strojů (Janeček et al. 2012).

- **Vrstevnicové obdělávání**

Vrstevnicové obdělávání spočívá v obdělávání půdy ve směru (nebo s malým odklonem) vrstevnic. Jde o jednoduché a účinné protierozní opatření. Při tomto opatření se používá oboustranný otočný pluh, který půdu překlápí proti svahu. Tento způsob orby může pomoci zadržet až 10 t/ha ornice, která by se jinak (při použití běžných pluhů) pohybovala po svahu (Janeček et al. 2008). Vrstevnicové obdělávání má význam zejména u svahů s menším sklonem do 12% (MZe 2011).

Je důležité, aby vzdálenost mezi brázdami byla stejná a aby byly brázdy pokud možno vodorovné, jinak může dojít k výmolové erozi. V místech kde je brázda nižší, začne voda přetékat a dochází tak ke vzniku výmolů (Kozlík et al. 1961).

K protierozní ochraně přispívá i vrstevnicové setí. Toto opatření pomáhá zpomalovat odtok a nepodléhá hrozbě výmolové eroze. Pro setí ve směru vrstevnic není nutná vrstevnicová orba (Fulajtár a Jánský 2001).

- **Bezorebné obdělávání**

Tato technika je vhodná zejména pro pěstování erozně náchylných plodin, jako je například kukuřice. Bezorebná technologie obdělávání půdy spočívá v setí plodin do půdy bez použití primární nebo sekundární orby. Jedná se o extrémní formu ochrany půdy, kdy půda zůstává bez zásahu. Výjimkou je pouze doba výsadby. Jde o postup, kdy jsou všechny posklizňové zbytky (kořeny, stonky, listy) ponechány na půdě (Lankoski et al. 2006).

Ponechané zbytky plodin zvyšují podíl organických látek v půdě. Použití bezorebné technologie šetří půdu a rovněž jsou výrazně sníženy náklady na orbu. Snižují se také výkyvy teploty v průběhu vegetačního období (půda je teplejší v noci a chladnější během dne) a snižuje se i opařování vody. Zvyšuje se retence vody v půdě a také jsou podporovány mikrobiální procesy (populace žížal a jejich aktivita) (Blanco a Lal 2008).

Použití této technologie však závisí na půdních a klimatických podmínkách v určitém území. V nevhodných podmínkách může mít bezorebné obdělávání negativní efekt, například zvýšené riziko zhutnění půdy. Dochází také k nárůstu plevelů, zvýšení nákladů na použití herbicidů a s tím spojené zvýšené chemické zatížení půdy (Blanco a Lal 2008).

- **Pásové obdělávání**

Pásové obdělávání je kombinací bezorebného obdělávání a běžné orby. Na obdělávaném pozemku se střídají zorané pásy a pásy orbou neporušené, na kterých jsou ponechány rostlinné zbytky. Zoraný pás zlepšuje odvodňování a snižuje zhutnění půdy (Blanco a Lal 2008).

Použití této technologie přináší výhody obou kombinovaných druhů obdělávání. V poslední době tak řada producentů přechází z bezorebného na pásové obdělávání. Pásové obdělávání může být alternativou pro bezorebnou technologii zejména v špatně odvodněných a jílovitých půdách (Licht a Al-Kaisi 2004).

Nevýhodou tohoto opatření je možnost použití pouze na malých územích. Musí být použity speciální orební stroje. Náklady na obdělávání tak jsou vyšší než při použití bezorebné technologie (Morgan 1979).

- **Ochranný podsev**

Ochranný podsev krycími plodinami je vhodné protierozní opatření zejména při pěstování širokořádkých plodin, jako je kukuřice. Krycí plodiny se používají zejména jako ochrana půdy mimo vegetační období ale mohou sloužit i jako doplněk při pěstování hlavní plodiny. Jako krycí plodiny se používají například jetel, vojtěška nebo svazenka (Morgan 1979).

Použití krycích plodin má řadu výhod. Snižují odtok, půdní erozi, výpar a také použití anorganických hnojiv, jelikož krycí plodiny ubírají živiny a prostor pro růst plevelů. Krycí plodiny mohou být zaorány do půdy jako hnojivo. Zvyšují tak podíl biomasy v půdě a aktivitu půdních organismů (Blanco a Lal 2008).

Krycí plodiny mohou ubírat živiny hlavní plodině a snižovat tak její produktivnost, zejména pokud je v půdě živin a vláhy nedostatek (Morgan 1979).

- **Hrázkování a důlkování**

Hrázkování se používá především u pěstování brambor. Při použití této technologie se v meziřadí brambor vytvoří ochranné hrázky, které akumulují odtékající vodu přímo na pozemku. Hrázkování se provádí bezprostředně po výsadbě speciálním strojem - hrázkovačem, který však dosud není sériově vyráběn. Hrázkování pozemků je efektivní na svazích o sklonu do 7° a maximální délky 300 m (Janeček et al. 2008).

Princip důlkování (Obr. 3) je velmi podobný jako hrázkování. V meziřadí jsou vytvářeny důlky, jejichž záchytná kapacita je přibližně 2 l vody. V porovnání s hrázkováním je však účinnost důlkování nižší (Dumbrovský a Milerski 2005).



Obr. 3: Důlkování nekolejové brázdy (P. Růžek, 2017)

3.3.3 Technická protierozní opatření

Technická protierozní opatření se používají tehdy, pokud nelze dosáhnout hodnot přípustné ztráty půdy organizačními či agrotechnickými opatřeními a nebo je-li výhodnější a efektivnější řešení pomocí technických opatření. Často jsou realizována v kombinaci s organizačními a agrotechnickými opatřeními, které zvyšují jejich účinnost. Jejich uplatnění je zejména u pozemků, kde negativní důsledky povrchového odtoku ohrožují zastavěná území a komunikace. Tato opatření se využívají k snížení podélného sklonu u velmi svažitéch pozemků, k vyrovnání terénních nerovností a k ochraně pozemků před nežádoucí vodou přitékající například z lesních porostů (Janeček et al. 2012).

Výhodou těchto opatření je jejich vysoká funkční efektivnost. Provedení technických opatření však musí předcházet rozsáhlá projektová dokumentace a jejich realizace je velmi nákladná (Fulajtár a Jánský 2001).

Druhů a provedení technických opatření je mnoho. O výběru opatření rozhoduje cíl, jehož chceme daným opatřením dosáhnout (Morgan 2005). Nejčastěji používaná technická opatření se dělí do dvou skupin a to na zemní úpravy a hydrotechnická opatření. Do skupiny zemních úprav patří zemní urovnávky, meze a terasy. Hydrotechnická opatření zahrnují příkopy, průlehy, ochranné hrázky a nádrže

(Janeček et al. 2008). Technická opatření zahrnují také mobilní protierozní opatření (Murray 2002).

- **Zemní úpravy**

- **Terénní urovnávky**

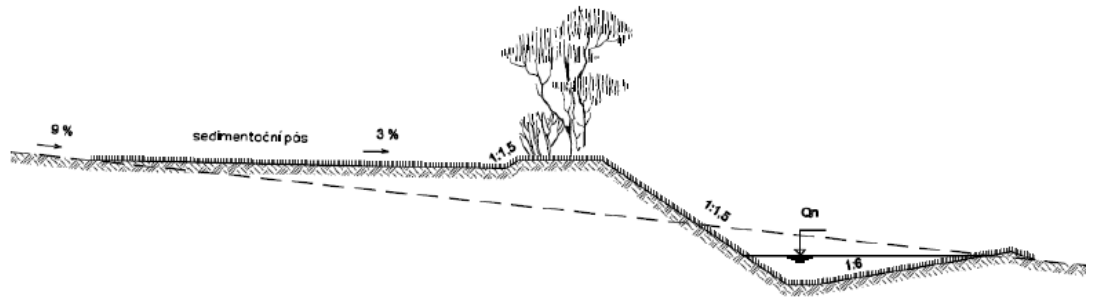
Terénní urovnávky se obvykle provádí jen na hlubokých půdách. Dochází totiž k odstranění vertikálních nerovností přesunem orné půdy. To způsobí snížení příčného sklonu u pozemků a rovněž se sníží možnost soustředování povrchového odtoku a s tím spojený vznik rýhové eroze (Janeček et al. 2008).

- **Protierozní meze**

Protierozní meze jsou významným technickým opatřením. Svůj účel však plní, pouze pokud jsou umístěny ve směru vrstevnic. Meze jsou vytvářeny postupně orbou, kdy se časem vytvoří terénní stupeň. Podstatou protierozní ochrany mezí je zejména ovlivnění směru obdělávání pozemků ve směru vrstevnic, mírném snížení sklonu svahu a možnosti uplatnění pásového střídání plodin. Schopnost mezí účinně přerušit povrchový odtok je velmi nízká. Z toho důvodu je vhodné meze doplnit hydrotechnickými opatřeními, jako jsou ochranné hrázky, průlehy a příkopy (Janeček et al. 2008).

Mez (Obr. 4) je tvořeny zasakovacím pásem v horní části meze, vlastním tělesem meze a odvodňovacími prvky pod mezí (Dumbrovský a Milerski 2005). Měla by být zatravněná, případně doplněna doprovodnou vegetací a vysoká maximálně 1 - 1,5 m o sklonu 1 : 1,5 (Janeček et al. 2012).

Mimo protierozní funkci mají meze a jejich vegetační porost značný estetický a ekologický význam v krajině. Zvyšují prostupnost krajiny a také slouží jako migrační zóny a hnízdní stanoviště pro drobnou zvěř a hmyz (Dumbrovský a Milerski 2005).



Obr.4: Vzorový příčný řez - protierozní meze (Janeček 2012)

○ Terasy

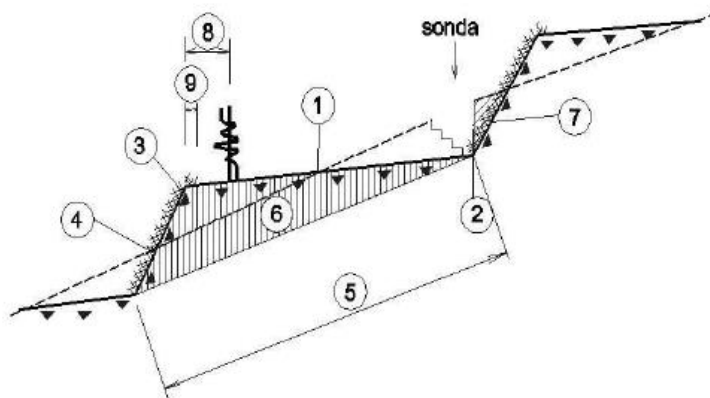
Použití teras je jedna z možností jak účinně chránit před erozí velmi svažité pozemky se sklonem větším než 20 %. Protierozní efekt teras spočívá v rozdělení svažitého pozemku terénními stupni na úseky (Obr. 5). Tím se zabrání tomu, aby povrchový odtok dosáhl kritického erozního účinku (Janeček et al. 2012).

Plocha teras musí být realizována tak, aby její tvar umožňoval využití okolních pozemků i samotných teras, včetně zabezpečení komunikační přístupnosti pro zemědělskou mechanizaci. Terasy se skládají z terasové plošiny a terasových svahů. Terasová plošina představuje produkční plochu terasy a je omezená šířkou a délkou. Terasový svah je vytvořen mezi plošinami. Jeho plocha je omezena šířkou a délkou svahu. Optimální výška terasového svahu je 6 m (Janeček et al. 2008). Terasy jsou často kombinovány s příkopy z důvodu přesměrování a snížení rychlosti povrchového odtoku (Blanco a Lal 2008).

Použití teras je však velmi nákladné a má značný vliv na okolní krajinu a ekologickou stabilitu, jehož rozsah lze velmi těžko předvídat. Proto je nutné terasy využívat pouze jako krajní řešení a realizovat je pouze v nejnútnejším rozsahu a dbát na zachování alespoň části původního terénu (Morgan 2005; Janeček et al. 2012).

Legenda ke schématu:

- (1)=terasová plošina (T_p)
- (2)= pata terasy (P_t)
- (3)= hrana terasy (H_t)
- (4)= svah terasy (S_v)
- (5)= rozchod teras (R_t)
- (6)= tělo terasy
- (7)= narušený půdní profil (h)
- (8)= okraj terasy (O_t)
- (9)= okrajový pás (O_p)



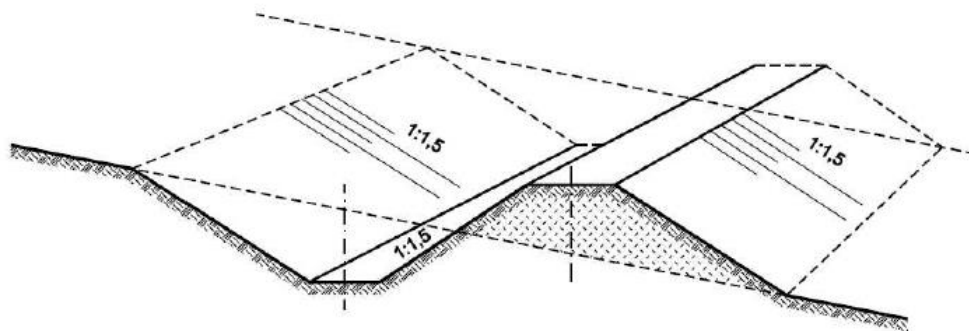
Obr. 5: Schéma uspořádání zemních teras (Janeček 2012)

• Hydrotechnická opatření

○ Příkopy

Protierozní příkopy slouží k neškodnému zachycování a odvádění povrchových vod a smyté zeminy. Voda je sváděna mimo dosah zemědělských pozemků a zastavěných území, kde nepůsobí škody. Příkop tvoří uměle vytvořené koryto (Obr. 6). Materiál je volen podle sklonu pozemku. U svahů do 11° se používá travnatý pokryv příkopu, v strmějších svazích by měly být příkopy ohraničeny kameny a u sklonu pozemku nad 15° se obvykle využívá betonových příkopů. Podle požadovaného stupně ochrany se příkopy dimenzují pro N leté průtoky (Morgan 2005).

Podle funkce se příkopy dělí na záchytné (obvodové), sběrné a svodné. Záchytné příkopy slouží k ochraně pozemku před vodami vnějšími, především z lesů. Příkopy sběrné se používají pro zachycení vnitřních vod na pozemku, především k snížení délky nepřerušovaného povrchového odtoku. Svodné příkopy zajišťují neškodný odtok vody do recipientu (Janeček et al. 2008).

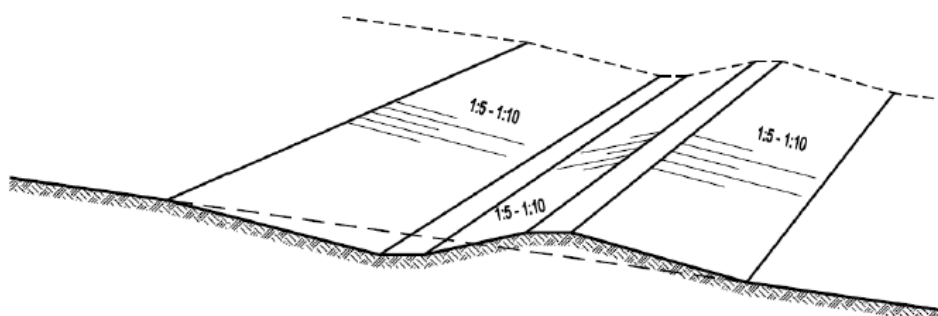


Obr. 6: Vzorový řez protierozním příkopem (Janeček 2012)

○ Průlehy

Průleh představuje široký, mělký příkop, který je většinou zpevněný pouze vegetací (Obr. 7). Průleh se obvykle zakládá s malým podélným sklonem. Svahy průlehu jsou na rozdíl od příkopu mírné. Stékající povrchová voda se zde zachycuje a vsakuje, případně je dále odváděna. Z funkčního hlediska se průlehy dělí stejně jako příkopy a to na záchytné, sběrné a svodné.

V kombinaci s organizačními a agrotechnickými opatřeními jsou průlehy jedním z nejefektivnějších protierozních opatření (Janeček et al. 2008).



Obr. 7: Vzorový řez záchytným průlehem (Janeček 2012)

○ Ochranné hrázky

Budování protierozních ochranných hrázek se uplatňuje na zemědělských pozemcích ve směru vrstevnic a na úpatí svahů pozemků zejména z důvodu ochrany

obcí a komunikací před přívalovými srážkami a zanesením splaveninami. Obvykle se realizují u pozemků s malým sklonem, kde by docházelo k zanášení průleहů a příkopů (Janeček et al. 2008).

Hrázky jsou nejčastěji zemní s travním porostem, vysoké maximálně 1 - 1,5 m. Výška ochranné hrázky a záchytný prostor před ní musí být dimenzován tak, aby zadržela potřebný objem vody včetně usazených sedimentů. Také musí být vybaveny výpustným zařízením s česlemi, které po usazení a zachycení splavenin před hrázkou zajistí odtok vody (Janeček et al. 2012).

○ **Protierozní nádrže**

Za velmi účinné protierozní opatření jsou považovány protierozní nádrže. Ty regulují povrchový odtok a zachytávají splaveniny z pozemků. Měly by být ale budovány výhradně tam, kde i přes realizaci jiných opatření stále dochází k nadměrnému transportu sedimentů do povrchových zdrojů pitné vody a k ohrožení obcí a důležitých staveb (Janeček et al. 2008).

Při návrhu těchto objektů je nutné, aby akumulací prostor měl dostatečnou kapacitu. Rovněž je při realizaci potřeba počítat se zatížením působícím na těleso hráze aby nemohlo dojít k poškození stavby. Protierozní nádrže jsou navrhovány buď se stálým obsahem vody nebo jako suché ochranné nádrže (Janeček et al. 2012).

Suché ochranné nádrže vhodnější a výhodnější v porovnání se zatopenými nádržemi. Dno těchto nádrží lze obhospodařovat jako louku (Dumbrovský a Milerski 2005). I přes to, že v době zvýšeného odtoku dojde k zaplavení nádrže, po odtoku zadržené vody dochází k vysušení zanesených sedimentů a následnému prorůstání vegetace. Naopak u trvale zatopených nádrží je nutné už při návrhu počítat s tím, jakým způsobem se budou splaveniny odstraňovat (Janeček et al. 2008).

Realizace těchto ochranných nádrží je velmi nákladná. Je tedy výhodné využívat tyto nádrže jak k protierozní tak k protipovodňové ochraně, případně k jiným účelům (Janeček et al. 2012).

- **Mobilní protierozní opatření**

- **Balíky slámy**

Perimetr vytvořený z balíků slámy (nebo podobného materiálu) a dřevěných pilířů se používá jako protierozní opatření nejčastěji u malých, erozně ohrožených územích (Obr. 8). Účelem tohoto opatření je snížit rychlost povrchového odtoku a zachytávat transportovaný sediment. Umístění této bariéry je vhodné zejména tehdy, je-li pozemek ohrožen plošnou erozí a není možné zachytit nadměrný odtok vody příkopem či jiným odvodňovacím opatřením.

Slaměné balíky se umísťují na úpatí nebo napříč svahu ve směru vrstevnic. Při zvýšeném odtoku je nutné balíky kontrolovat a případně opravit či vyměnit. Pokud je akumulační prostor zaplněn do poloviny výšky slaměné bariéry, je nutné usazený sediment odstranit. Předpokládaná životnost těchto bariér je 3 měsíce (Murray 2002).



Obr. 8: Balíky slámy jako protierozní opatření (HopNews.com, 2011)

- **Bahenní ploty**

Účelem tohoto opatření je zachycení sedimentů u pozemků podléhajících vodní erozi. Toto opatření se používá pouze u pozemků, jejichž odvodňovací oblast nepřesáhne 0,2 ha na 30 m plotu. Rovněž na pozemku nesmí být koncentrovaný odtok přímo do bariéry z důvodu porušení plotu. Plot by měl být umístěn co nejbližší postíženému území.

Ploty jsou tvořené z geotextilní tkaniny (Obr. 9). Při stavbě tohoto opatření by měly být dodrženy minimální požadavky, jako jsou: typ, velikost a rozteč jednotlivých sloupků plotu; velikost drátů nesoucích geotextilní tkaninu; typ filtrační textilie a způsob jejího upevnění. Při zvýšeném odtoku je třeba kontrola a údržba plotu. V případě nadměrného zatížení plotu usazeným materiálem je nutné tento materiál odstranit (Murray 2002).

Bahenní ploty jsou schopny zadržet 70 - 90% suspendovaných látek v odtoku. Díky jednoduché konstrukci a relativně nízkým nákladům na stavbu jsou tato opatření často využívána v programech na ochranu půdy a také ve stavebním a těžebním průmyslu (Blanco a Lal 2008).



Obr. 9: Ochranné ploty zadržující erozní smyv (Siltbuster Ltd, 2017)

○ **Povrchové rohože**

Povrchové rohože a sítě jsou dočasná opatření, tvořená z přírodních nebo syntetických propustných materiálů, jako je například juta, kokos, sláma nebo nylon (Obr. 10). Z hlediska ochrany půdy proti erozi mají tato opatření řadu funkcí, například: stabilizace narušených míst; zlepšení odvodnění; oddělení a filtrace sedimentu; tvoří vhodné podmínky pro růst vegetace a potlačení plevelů. Tyto rohože poskytují okamžitou kontrolu půdní eroze a jsou běžně využívány při zakládání trvalého vegetačního pokryvu na strmých svazích (Blanco a Lal 2008). Také mohou být použity jako doplňkové opatření k příkopům a průlehům (Murray 2002).

Rohože jsou ukotveny na svah kolíky z tvrdého dřeva. Otvory v rohožích musí být dostatečně velké, aby umožnily optimální růst vegetace. Zároveň ale musí být dostatečně malé, aby efektivně bránily půdní erozi (Blanco a Lal 2008). Při zvýšeném odtoku je třeba rohože pravidelně kontrolovat. Je nutné, aby rohož byla v neustálém kontaktu s půdou a v dobrém technickém stavu (Murray 2002).

Použití rohoží z přírodních materiálů (např. kokosové vlákno, juta) je výhodnější než použití syntetického materiálu. Přírodní geotextilie připomínají povrch půdy a nejsou ovlivněny slunečním zářením tak jako rohože ze syntetických materiálů, u nichž může dojít k přehřátí povrchu. Rohože z přírodního materiálu jsou navíc biologicky rozložitelné a tudíž šetrnější k životnímu prostředí. Jejich životnost je však nižší než u rohoží ze syntetických materiálů (Blanco a Lal 2008).



Obr. 10: Protierozní rohože (Stavocon, 2011)

3.4 Způsoby hodnocení eroze

3.4.1 USLE

K určení erozní ohroženosti zemědělských pozemků vodní erozí se v České republice používá tzv. Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí – USLE dle Wischmeiera a Smithe (1978). Hodnota přípustné ztráty půdy slouží ke stanovení míry erozního ohrožení pozemku a je definována jako hraniční velikost eroze půdy, která dovoluje dlouhodobě a ekonomicky dostupně udržovat dostatečnou

půdní úrodnost (Janeček et al. 2012). Základním modelem pro určení hodnot jednotlivých faktorů této rovnice je standardní pozemek o délce 22,13 m a sklonu 9 % udržovaný jako úhor (Renard a Yoder 2010).

Pro rovnici USLE platí vztah:

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

kde: **G** - průměrná dlouhodobá ztráta půdy ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$),

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

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

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

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

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

P - faktor účinnosti protierozních opatření.

3.4.2 RUSLE

RUSLE , neboli (Revised Universal Soil Loss Equation), je rovnice odvozenou z rovnice USLE. Tato rovnice se stejně jako USLE používá pro predikci dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy vodní erozí ze zemědělsky využívaných pozemků ležících v klimatické oblasti daného typu, s daným druhem půdy, o určitém sklonu a délce svahu, při určitém systému pěstování plodin, obdělávání půdy a uplatňováním protierozních opatření. Lze ji však aplikovat i pro území s nezemědělským využitím. Tato rovnice je jedním z nejpoužívanějších prostředků pro predikci dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy vodní erozí, protože vyhovuje inženýrským i vědeckovýzkumným požadavkům. Algoritmy využívané v rovnici RUSLE jsou částečně převzaty i z USLE. Jedná se převážně o stanovení hodnoty některých faktorů (Janeček et al. 2008). Rovnice RUSLE je vyjádřena vztahem:

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

- kde: **A** - průměrná roční ztráta půdy,
R - faktor erozní účinnosti deště,
K - faktor erodovatelnosti půdy,
L - faktor délky svahu,
S - faktor sklonu svahu,
C - faktor vegetačního krytu a osevního postupu,
P - faktor protierozního opatření.

3.4.3 USPED

Model USPED (Unit Stream Power–Based Erosion/Deposition model) je založený na univerzální rovnici ztráty půdy – USLE. Rozdíl mezi modelem USLE a USPED spočívá v tom, že model USPED umí, spolu s modelováním prostorové eroze, zároveň modelovat a předpovídat místa usazování sedimentů za podmínek ustáleného proudění povrchové vody jako důsledku jednotné srážkové události. Tento model byl vyvinut v USA. Využití modelu USPED je menší, než u modelu USLE. Model USPED byl aplikován například v USA na různě velkých povodích různých velikostí a také v Itálii nebo na Slovensku. Model USPED byl poprvé využit ve střední Illinois a Yakima Ridge ve státě Washington (Vysloužilová a Kliment 2012) a také ve státě Arkansas v USA (Leh et al. 2011) S použitím modelu USPED se také setkáme v severní Itálii v oblasti Romagna (Pistocchi 2002) a na Slovensku v Myjavské pahorkatině v oblasti Luskovica (Stankoviansky et al. 2008). Určení erozní ohroženosti za pomoci modelu USPED může být zpracováno v prostředí geografických informačních systémů (GIS), například ArcGIS nebo GRASSGIS (Vysloužilová a Kliment 2012).

Podle modelu USPED je hodnota eroze, resp. poměr eroze a depozice erodovaného materiálu (ED) vyjádřena vztahem:

$$ED = K_t [(\text{grad } h) \cdot s \cdot \sin \beta - h \cdot (k_p + k_i)],$$

- kde: **K_t** - koeficient transportu půdy,

h - hloubka vody odvozená se sběrných ploch [m],

s - jednotkový vektor ve směru nejstrmějšího svahu,

β - úhel sklonu svahu [°],

k_p - normálová křivost ve směru spádové křivky,

k_t - normálová křivost ve směru tečny k vrstevnici (Stankoviánsky et al. 2008).

Při vývoji modelu USPED nebyly zahrnuty faktory ochranného vlivu vegetace, erozní účinnosti deště a erodibility půdy. Tyto faktory přebírá model USPED z rovnice USLE.

Stanovení kapacity transportu sedimentů je vyjádřena vztahem:

$$T = R \cdot K \cdot C \cdot P \cdot A^m \cdot (\sin b)^n$$

kde: **T** - kapacita transportu sedimentů,

R - faktor erozní účinnosti dešťů,

K - faktor erodovatelnosti půdy,

C - faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu,

P - faktor účinnosti protierozních opatření,

A^m · (sin b)ⁿ = LS - faktor délky svahu a sklonu svahu,

m, n - konstanty pro povrchový odtok vody.

Výsledná kapacita transportu sedimentů (T) vstupuje do rovnice stanovující výslednou erozi resp. depozici sedimentů. Faktory R, K, C, P, (LS) jsou převzaty z modelu USLE (Vysloužilová a Kliment 2012).

Výslednou erozi resp. depozici lze též vyjádřit zjednodušeným vztahem:

$$ED = \frac{d(T \cos a)}{dx} + \frac{d(T \sin a)}{dy}$$

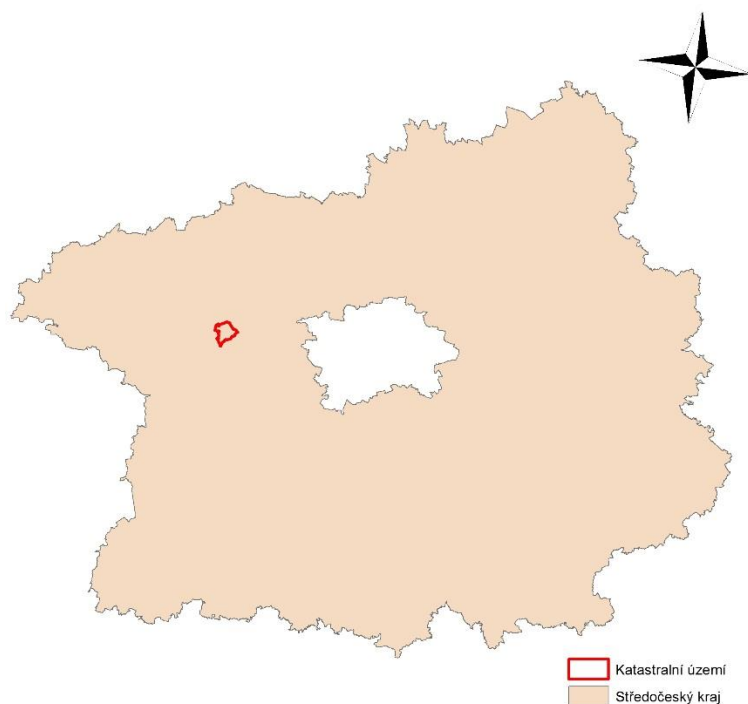
kde: **a** - orientace svahu [°],

T - transportní kapacita sedimentů [kgm⁻¹s⁻¹].

Pokud je u výsledků poměru eroze a depozice erodovaného materiálu (ED) výsledná hodnota kladná, potom převažuje množství usazené půdy nad půdou erodovanou. Dochází tak k akumulaci půdy. Je-li výsledná hodnota záporná, dochází k převaze eroze nad depozicí půdy. Výsledná hodnota eroze se pak vyjadřuje v jednotkách tuny na hektar za jeden rok [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok$] (Mitáš a Mitášová 1999).

4. Charakteristika studijního území

Obec Bratronice se nachází v okrese Kladno ve Středočeském kraji, asi 30 kilometrů západně od Prahy (Obr. 11). První písemná zmínka o obci pochází z roku 1228, kdy ležela na lovecké cestě z Prahy na hrad Křivoklát. Mezi významné stavby v obci patří zejména kostel Všech svatých z poloviny 18. století. V současné době žije v obci 743 obyvatel. Rozloha území je 1262 ha (Obec Bratronice 2017).



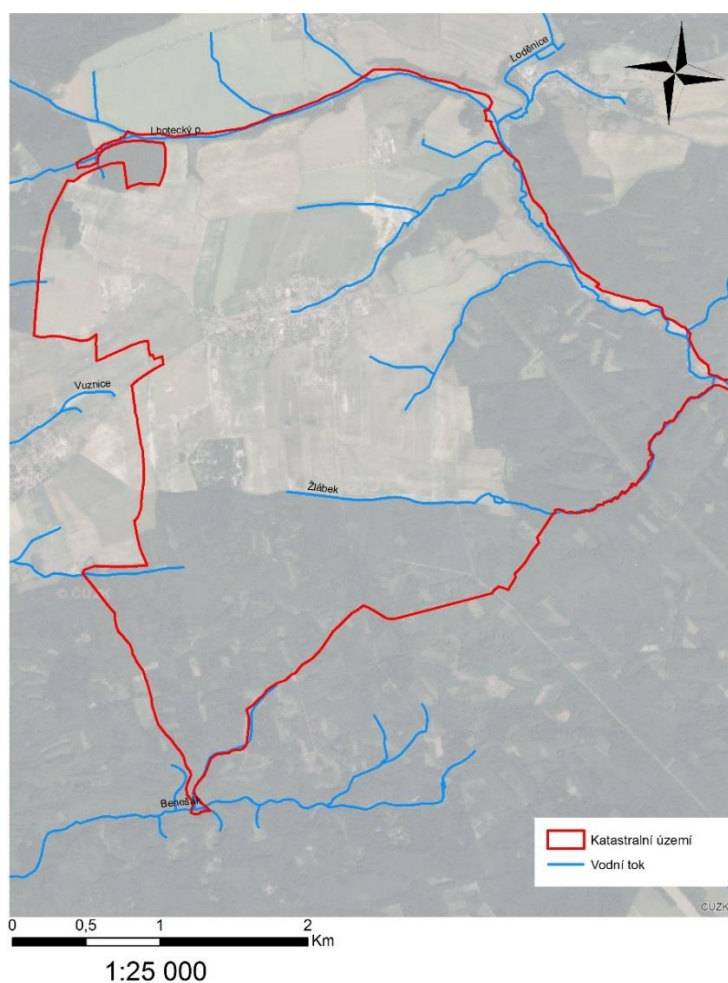
Obr. 11: Poloha katastrálního území ve Středočeském kraji

4.1 Klimatické poměry

Řešené území spadá do klimatického regionu KR4, který je charakterizován jako mírně teplý a suchý, s dlouhým, teplým a suchým létem, krátkým přechodným obdobím s mírně teplým jarem a podzimem a krátkou, mírně teplou a suchou zimou. Průměrná roční teplota se zde pohybuje kolem 7 - 8,5 °C. Oblast se nachází při okraji srážkového stínu Krušných hor, takže průměrné roční srážky činí jen 530 mm, ve vegetačním období je to pouze 350 mm. Nejvíce srážek spadne v červenci, okolo 80 mm, minimální úhrn srážek připadá na únor, kolem 27 mm. Převažující směr větrů je západní až jihozápadní (Morávková 2011).

4.2 Hydrologické poměry

Z hydrologického hlediska se zájmová oblast nachází v povodí Berounky, na rozvodnici potoka Loděnice a potoka Vůznice (Obr. 12). Převážná část území je součástí hydrologického povodí Loděnice a jeho pravostranného přítoku Lhoteckého potoka. Pouze malá část na jihozápadě území je odvodňována do povodí Vůznice a jejího levostranného přítoku Benešáku. Území bylo vodohospodářskými úpravami v minulosti pozměněno. Koryta vodních toků a odvodňovacích kanálů byla upravena a tvoří síť hlavních melioračních zařízení (Morávková 2011).

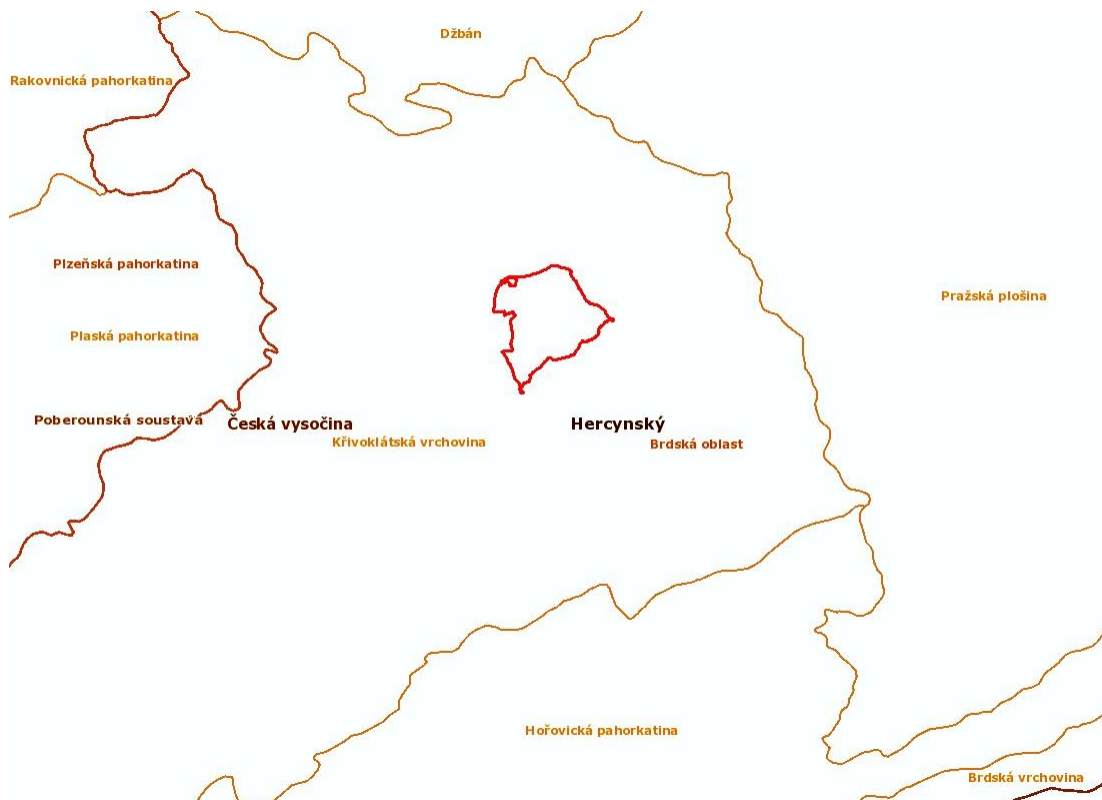


Obr. 12: Vodní toky v katastrálním území Bratronice

4.3 Geologické a geomorfologické poměry

Sledované území se nachází v Hercynském systému v provincii Česká vysočina, subprovincii Poberounská soustava a oblasti Brdská oblast (Obr. 13). Ta se dělí na 5 celků: Džbán, Pražská plošina, Hořovická pahorkatina, Brdská vrchovina

a Křivoklátská vrchovina. Katastrální území Bratronice se nachází v celku Křivoklátská vrchovina (Národní geoportál INSPIRE 2017).



Obr. 13: Geomorfologické poměry zájmového území (Národní geoportál INSPIRE 2017)

Terén je střídavě zvlněný, nadmořská výška se pohybuje v rozmezí 365 – 450 m. n. m. (Morávková 2011).

4.4 Půdní poměry

V katastrálním území Bratronice převažuje zemědělská půda, která má výměru 637,552 ha, z toho orná půda 523,034 ha, sady a zahrady 25,257 ha a trvalý travní porost 89,261 ha. Rozloha lesních pozemků je 505,826 ha. Vodních toků a vodních ploch je v území poměrně málo, jejich rozloha je 5,137 ha (Český úřad zeměměřičský a katastrální 2017).

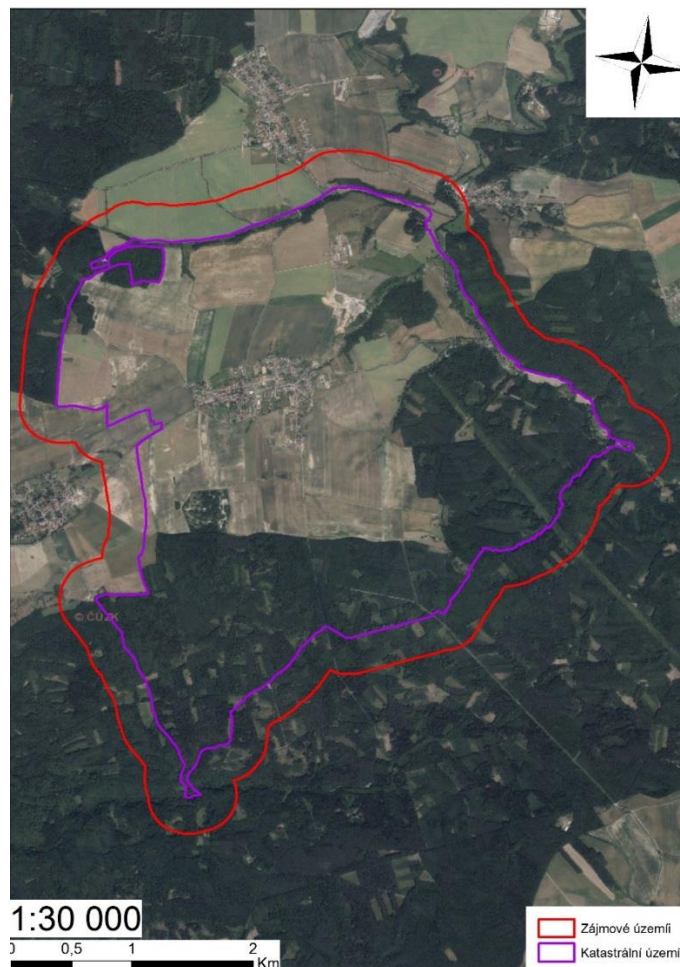
Území leží v zemědělsky využívané krajině, kde převažuje agrocenóza (orná půda, louky) s nižším stupněm ekologické stability. Dle půdních typů se v území nejvíce vyskytují kambizemě a hnědozemě (Morávková 2011). Kambizemě jsou nejvíce rozšířeným půdním typem v České republice. Nacházejí se v různých nadmořských výškách a rozdělují se na kambizemě nižších poloh (300 - 600 m. n.

m.) a kambizemě vyšších poloh (nad 600 m. n. m.). Kambizemě nižších poloh mají snížený obsah humusu. I přes to jsou kvalitativně lepší než kambizemě vyšších poloh. Tento typ půdy je využíván k lesnickým a zemědělským účelům. Hnědozemě jsou půdami nížin a rovinatějších poloh pahorkatin. Většinou jsou využívány zemědělsky (Šarapatka 2014).

5. Metodika

Pro analýzu erozní ohroženosti zemědělských v katastrálním území Bratronice u Kladna byla použita metoda výpočtu pomocí rovnice USLE s využitím prostředí ArcGIS. Velikost ztráty půdy je při použití této metody určena pro jednotlivé buňky pozemku, kterým byla přiřazena hodnota všech dílčích faktorů rovnice USLE. Při výpočtu rovnice USLE v prostředí ArcGIS je určení faktorů R, K, C a P stejné jako při manuálním výpočtu. Rozdíl je ve faktoru LS, pro jehož výpočet je nezbytný Digitální model terénu (DMT).

Zájmové území (Obr. 14) v této práci představuje katastrální území Bratronice u Kladna včetně obalové zóny 300 m, vytvořené pomocí nástroje *Buffer*, aby byly do výpočtů zahrnuty i pozemky, které částí své plochy zasahují mimo katastrální území a také aby nedocházelo ke zkreslení výsledků u pozemků v těsné blízkosti hranice katastrálního území.



Obr. 14: Zájmové území

5.1 Použitá data

- Digitální báze vodohospodářských dat - dostupné z webových stránek www.dibavod.cz
- Vrstevnice ZABAGED - poskytnuta Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním
- Mapa BPEJ - poskytnuta Státním pozemkovým úřadem
- LPIS - vrstva využití zemědělských pozemků, získaná z Veřejného registru půdy (www.eagri.cz)

5.2 Výběr pozemků

Pro analýzu erozní ohroženosti v zájmovém území byly vybrány všechny půdní bloky, které jsou využívány jako orná půda nebo trvalý travní porost (Obr. 15). Takových pozemků se v území nachází celkem 75, z toho 45 půdních bloků je využíváno jako orná půda a 30 jako trvalý travní porost.

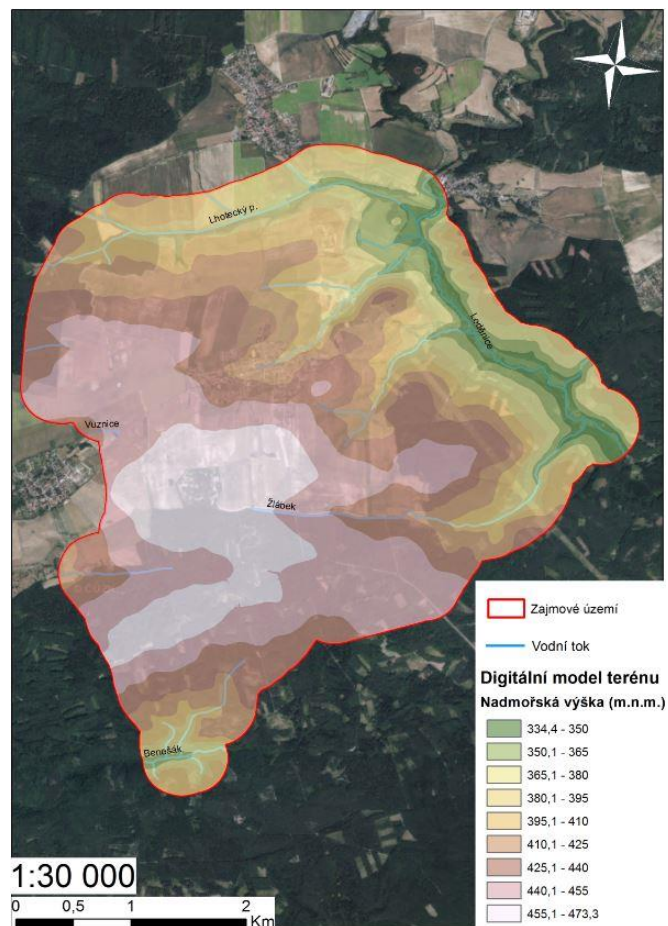


Obr. 15: Půdní bloky v zájmovém území

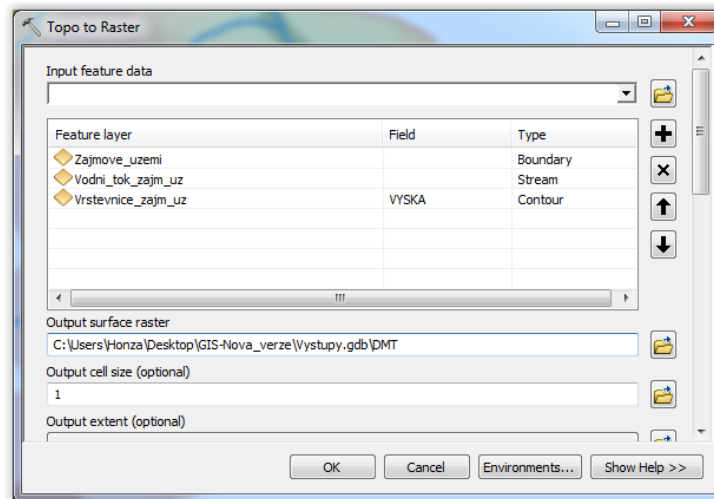
5.3 Digitální model terénu

Vytvoření Digitálního modelu terénu (DMT) je důležitým krokem pro výpočet erozní ohroženosti, zejména pro určení hydrologických charakteristik a výpočet topografického faktoru LS. DMT představuje model terénu bez jakýchkoliv objektů na jeho povrchu (Oršulák 2010).

K vytvoření DMT slouží nástroj *Topo to raster*. Jako vstupní data se použijí vrstvy vrstevnic, vodních toků a zájmového území, z nichž vznikne výsledný rastr DMT (Obr. 16). Použití nástroje *Topo to raster* a nastavení vstupních dat je znázorněno na Obr. 17. Velikost buňky pro DMT (Output cell size) byla nastavena na 1 m. Díky tomu bude mít výsledný model přesnější rozlišení.

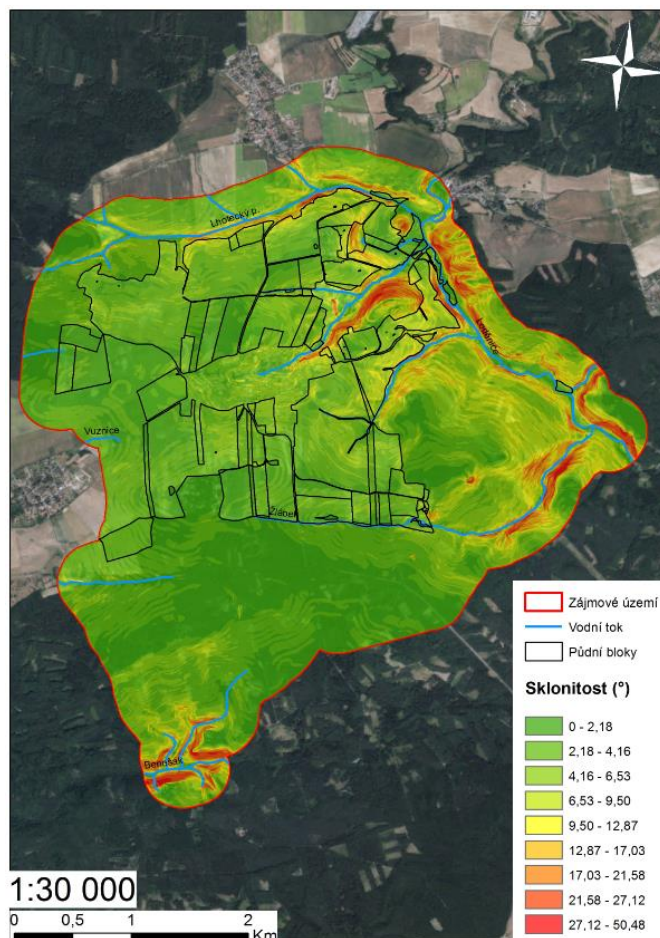


Obr. 16: Digitální model terénu (DMT)



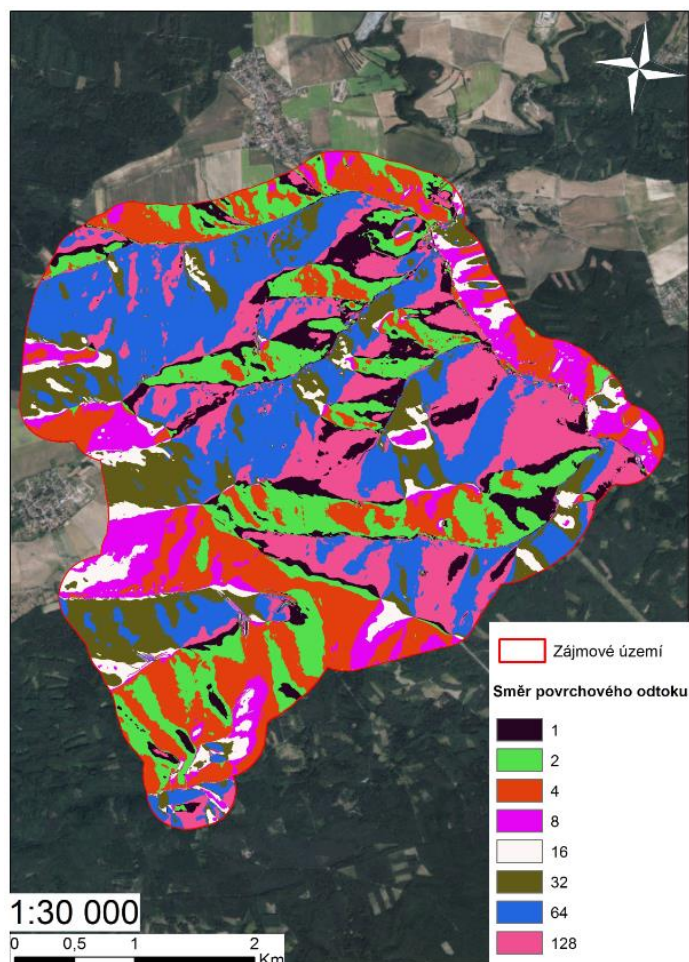
Obr. 16: Nastavení nástroje *Topo to raster*

Vrstva DMT slouží jako vstup pro výpočet sklonitosti terénu (Obr. 17) pomocí nástroje *Slope*, kde můžeme nastavit jednotky výstupního rastru - DEGREE pro stupně a PERCENTRISE pro procenta. Pro účely výpočtu LS faktoru se použijí stupně.



Obr. 17: Sklonitost terénu v zájmovém území

DMT se také používá pro výpočet směru povrchového odtoku (Obr. 18) pomocí nástroje *Flow direction*, který nám umožňuje určit směr povrchového odtoku z každé buňky rastru. Tok může téci z jedné centrální do osmy přilehlých buněk (Obr. 19). Každý směr má číslo od 1 do 128. Směr odtoku se určuje podle sousední buňky s největším sklonem (Brychta, Petřů 2016).



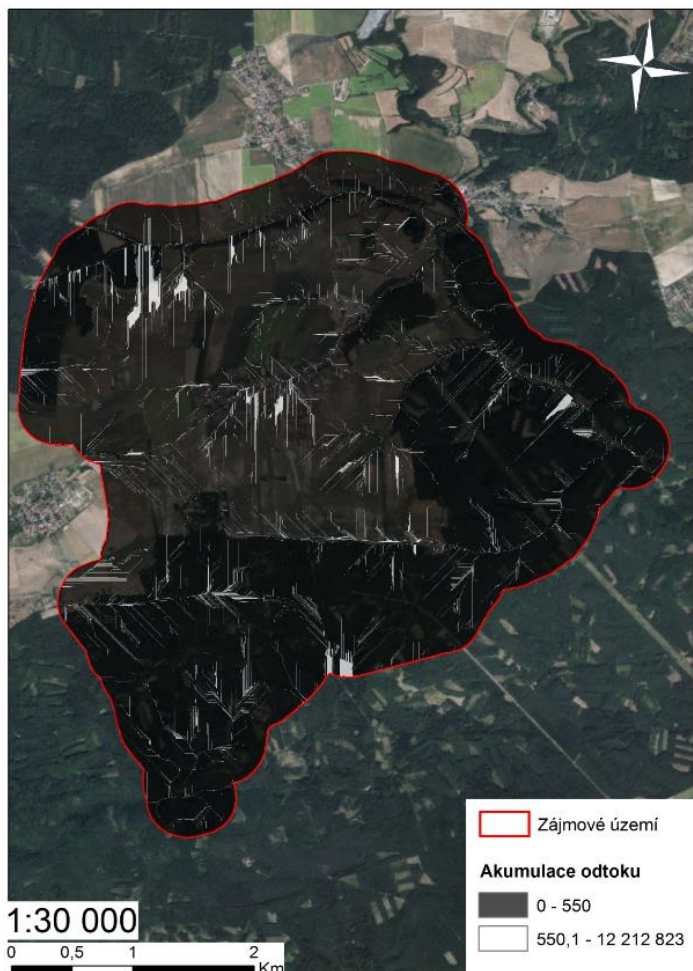
Obr. 18: Směr povrchového odtoku v zájmovém území



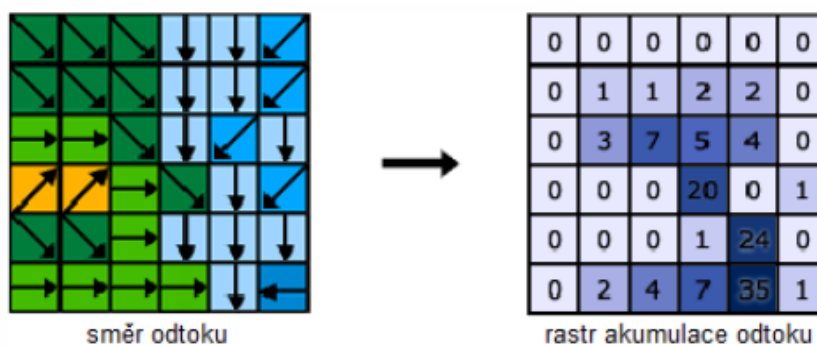
Obr. 19: Kódování směru povrchového odtoku (Brychta, Petřů 2016)

Pomocí vrstvy směru povrchového odtoku a nástroje *Flow accumulation* se vytvoří vrstva akumulace otoku (Obr. 20). Tento nástroj je založen na postupném

načítání rastrových buněk odtékajících do nižší buňky rastru (Obr. 21). Hodnota buňky rastru je tvořena součtem všech buněk, které do ní přitékají, a aktuálně počítaná buňka se do součtu nezahrnuje. V nástroji *Flow accumulation* je nutné nastavit typ výstupních dat jako INTEGER - celá čísla (Brychta, Petru 2016).



Obr. 20: Akumulace odtoku v zájmovém území



Obr. 21: Princip generování směru a akumulace povrchového odtoku v ArcGIS (Brychta, Petru 2016)

5.4 Faktor LS

Pro výpočet topografického faktoru LS byla použita rovnice dle Mitášové (1996). Pomocí této metody se faktor LS vypočítá ze vzorce:

$$LS = \left(\frac{A}{22,13}\right)^m * \left(\frac{\sin(s)}{0,0896}\right)^n$$

kde:

A - plocha

s - sklon terénu

m, n - kalibrační koeficienty

22,13 - délka standardního pozemku

0,0896 - sklon standardního pozemku

K vytvoření rastrové vrstvy LS faktoru jsou nezbytné vrstvy akumulace odtoku a sklonitost. Tyto vrstvy jsou v nástroji *Raster calculator* dosazeny do rovnice dle Mitášové (Obr. 22). Výsledná rovnice má tvar:

$$\text{Power}(\text{flowaccumulation} * \text{resolution} / 22,13, 0,56) * \text{Power}(\text{Sin}(\text{Slope} * (3,14 / 180)) / 0,0896, 1,3) * (1 + 0,56)$$

kde:

flow accumulation - vrstva akumulace odtoku

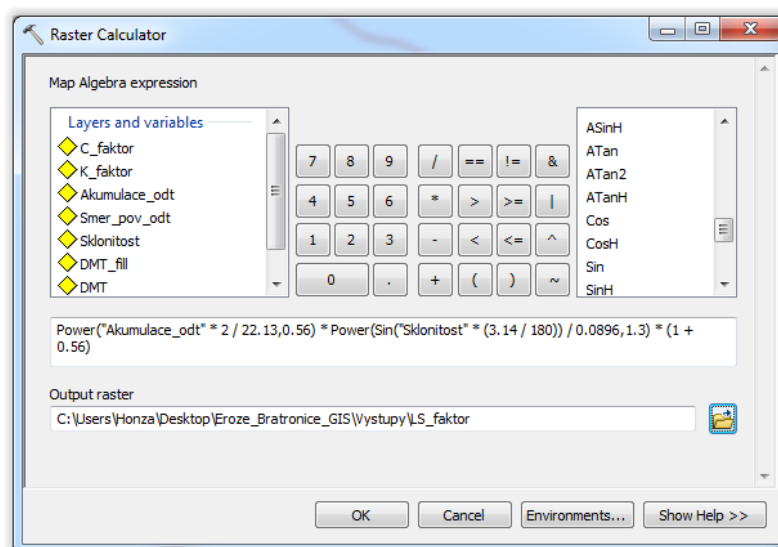
resolution - velikost buňky DMT

slope - vrstva sklonitosti terénu

0,56 a 1,3 - kalibrační koeficienty

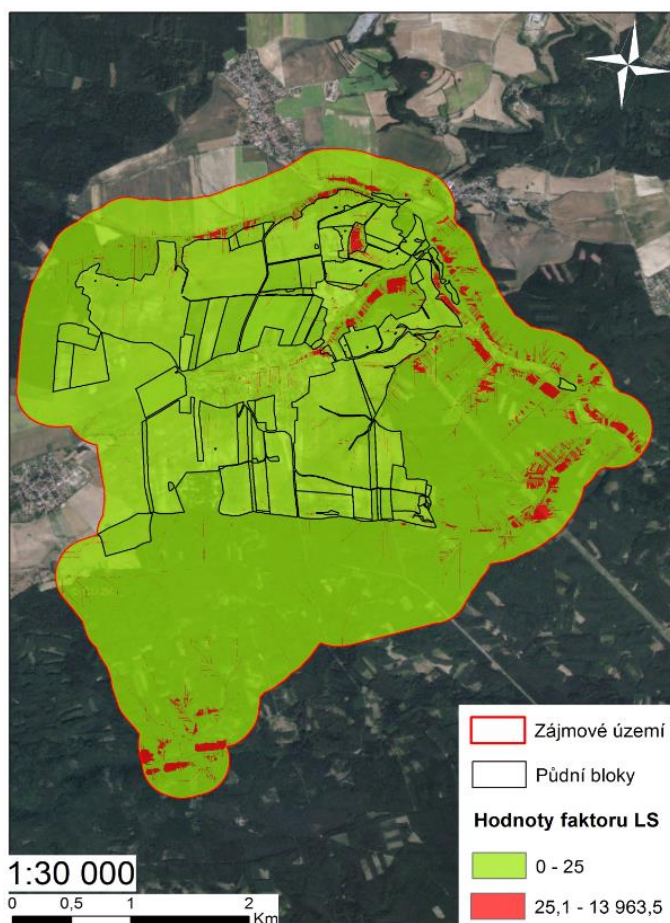
22,13 - délka standardního pozemku

0,0896 - sklon standardního pozemku



Obr. 22: Tvar rovnice pro výpočet faktoru LS pomocí nástroje *Raster calculator*

Výsledkem této rovnice je rastrová vrstva zobrazující topografický faktor LS (Obr. 23).



Obr. 23: Hodnoty faktoru LS v zájmovém území

5.5 Faktor R

Faktor erozní účinnosti srážek R závisí na četnosti výskytu srážek, jejich kinetické energii, intenzitě a úhrnu. Pro Českou republiku byla stanovena průměrná roční hodnota faktoru $R = 40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$. Tato hodnota se stanovuje z dlouhodobých záznamů o srážkách (Janeček et al. 2012).

5.6 Faktor K

Faktor K je definován jako ztráta půdy v $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ na jednotku erozní účinnosti deště (R) ze standardního pozemku o délce 22,13 m a sklonu 9%. Vyjadřuje vliv půdních vlastností na velikost ztráty půdy.

Tento faktor lze určit třemi způsoby:

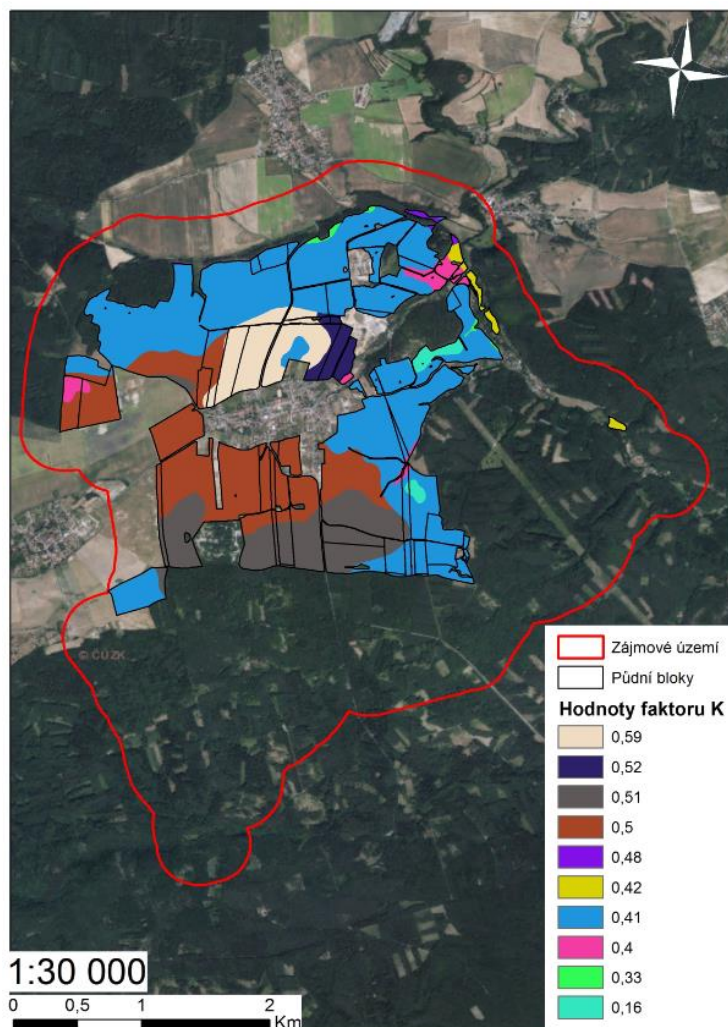
- pomocí vzorce
- pomocí nomogramu
- podle hlavních půdních jednotek z mapy BPEJ

Pro širší využití je vhodnější určit přibližné hodnoty K faktoru pomocí hlavních půdních jednotek - HPJ, které představují 2. a 3. čísla kódu BPEJ. Hodnoty K faktoru pro jednotlivé HPJ jsou uvedeny v Tab.1 (Brychta, Petruš 2016).

Pro aplikaci K faktoru do rovnice USLE je nutné, pomocí funkce *Intersect*, vytvořit průnik vrstvy půdních bloků a vrstvy BPEJ. Nově vytvořená vrstva představuje půdní bloky orné půdy a trvalých travních porostů, které v atributové tabulce obsahuje navíc informace z vrstvy BPEJ. Do atributové tabulky nově vytvořené vrstvy přidáme sloupec: HPJ (Type: Short Integer) a K (Type: Float). Hodnoty sloupce HPJ se určí podle 2. a 3. čísla kódu BPEJ, podle nichž následně přiřadíme hodnoty do sloupce faktoru K. Poté pomocí funkce *Feature to raster* vytvoříme rastrovou vrstvu K faktoru (Obr. 24).

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

Tab.1: Hodnoty K faktoru pro jednotlivé HPJ (Brychta, Petrů 2016).



Obr. 24: Hodnoty K faktoru u půdních bloků v zájmovém území

5.7 Faktor C

Faktor C vyjadřuje vliv vegetačního pokryvu na smyv půdy. Hodnota faktoru C pro danou plodinu je závislá na jejím zařazení v osevním postupu, délce vegetační plodiny, použité agrotechnice a výrobní oblasti. Pokud nejsou k dispozici údaje o osevních postupech a struktuře pěstovaných plodin je možné určit C faktor podle průměrných ročních hodnot (Tab. 2) nebo podle klimatických regionů (Tab. 3)(Brychta, Petřů 2016).

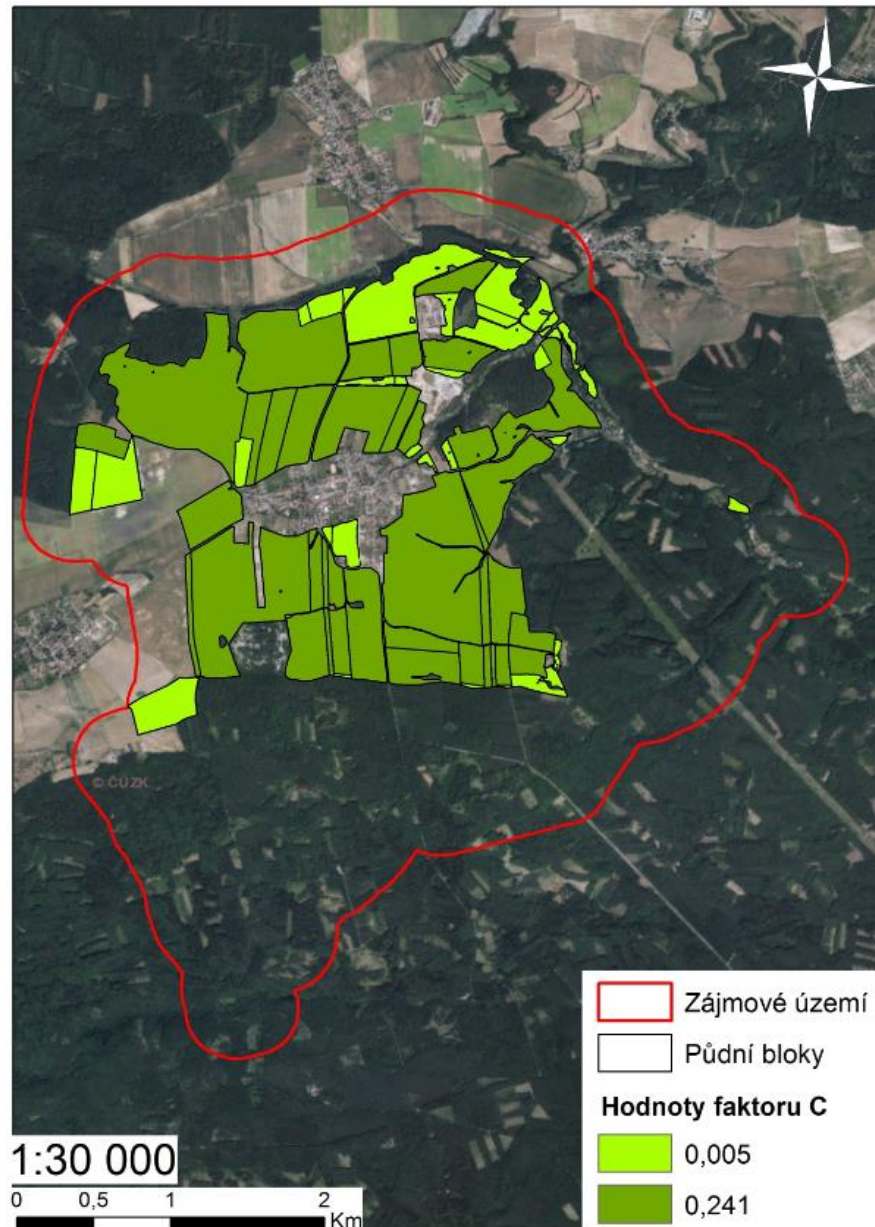
plodina	C faktor	plodina	C faktor
pšenice ozimá	0,12	chmelnice	0,8
žito ozimé	0,17	řepka ozimá	0,22
ječmen jarní	0,15	slunečnice	0,6
ječmen ozimý	0,17	mák	0,5
oves	0,1	ostatní olejniny	0,22
kukuřice na zrno	0,61	kukuřice na siláž	0,72
luštěniny	0,05	ostatní píceiny jednoleté	0,02
brambory rané	0,6	ostatní píceiny víceleté	0,01
brambory pozdní	0,44	zelenina	0,45
louky	0,005	sady	0,45

Tab.2: Průměrné hodnoty C faktoru pro dané plodiny (Brychta, Petřů 2016).

klimatický region	orná půda	ostatní plochy ZPF
0	0,291	0,307
1	0,278	0,286
2	0,266	0,264
3	0,254	0,243
4	0,241	0,221
5	0,229	0,199
6	0,216	0,178
7	0,204	0,156
8	0,192	0,135
9	0,179	0,113

Tab.3: Hodnoty C faktoru podle klimatických regionů (Brychta, Petřů 2016).

Pro zpracování této práce nebyly k dispozici údaje o osevních postupech ani struktuře pěstovaných plodin. Byla tedy použita metodika dle klimatických regionů ČR. Klimatický region se určí podle 1. čísla kódu BPEJ. Zájmové území se nachází v klimatickém regionu číslo 4. Faktor C má tedy pro plochy orné půdy hodnotu 0,241. Trvalým travním porostům (loukám) byla přiřazena hodnota 0,005 podle průměrných ročních hodnot faktoru C. Tyto hodnoty zapíšeme v atributové tabulce do nově vytvořeného sloupce faktoru C. Poté opět pomocí funkce *Feature to raster* vytvoříme rastrovou vrstvu C faktoru (Obr. 25).



Obr. 25: Hodnoty faktoru C u půdních bloků v zájmovém území

5.8 Faktor P

Tento faktor zahrnuje vliv a účinnost protierozních opatření. Faktor P nabývá hodnot od 0 do 1, kdy nejvyšší hodnoty odpovídají půdě bez ochrany. Hodnoty faktoru P pro různá protierozní opatření jsou uvedena v Tab. 4 (Brychta, Petřů 2016).

Protierozní opatření	Sklon svahu (%)			
	2 – 7	7 – 12	12 – 18	18 – 24
Maximální délka pozemku po spádnici při konturovém obdělávání	120m	60m	40m	-
	0,6	0,7	0,9	1
Maximální šířka a počet pásů při pásovém střídání	40m	30m	20m	20m
	6 pásů	4 pásy	4 pásy	2 pásy
- okopanin s víceletými pícninami	0,3	0,35	0,4	0,45
- okopanin s ozimými obilovinami	0,5	0,6	0,75	0,9
Hrázkování, resp. přerušované brázdování podél vrstevnic	0,25	0,3	0,4	0,45
Terasování			0,05 – 0,2	

Tab. 4: Hodnoty faktoru protierozních opatření dle sklonu svahu (Brychta, Petruš 2016).

Při vyhodnocení míry erozního ohrožení v této práci nebylo počítáno s žádnými protierozními opatřeními. Faktor P tak vstupuje do rovnice USLE s hodnotou 1.

6. Současný stav řešené problematiky

Výsledný výpočet pomocí rovnice USLE byl proveden v nástroji *Raster calculator*. Všechny vytvořené vrstvy a hodnoty jednotlivých faktorů dosadíme do rovnice. Rovnice USLE má pak tvar:

$$G = 40 * K * LS * C * 1$$

kde:

40 - hodnota faktoru erozní účinnosti deště R

K - rastrová vrstva faktoru erodovatelnosti půdy

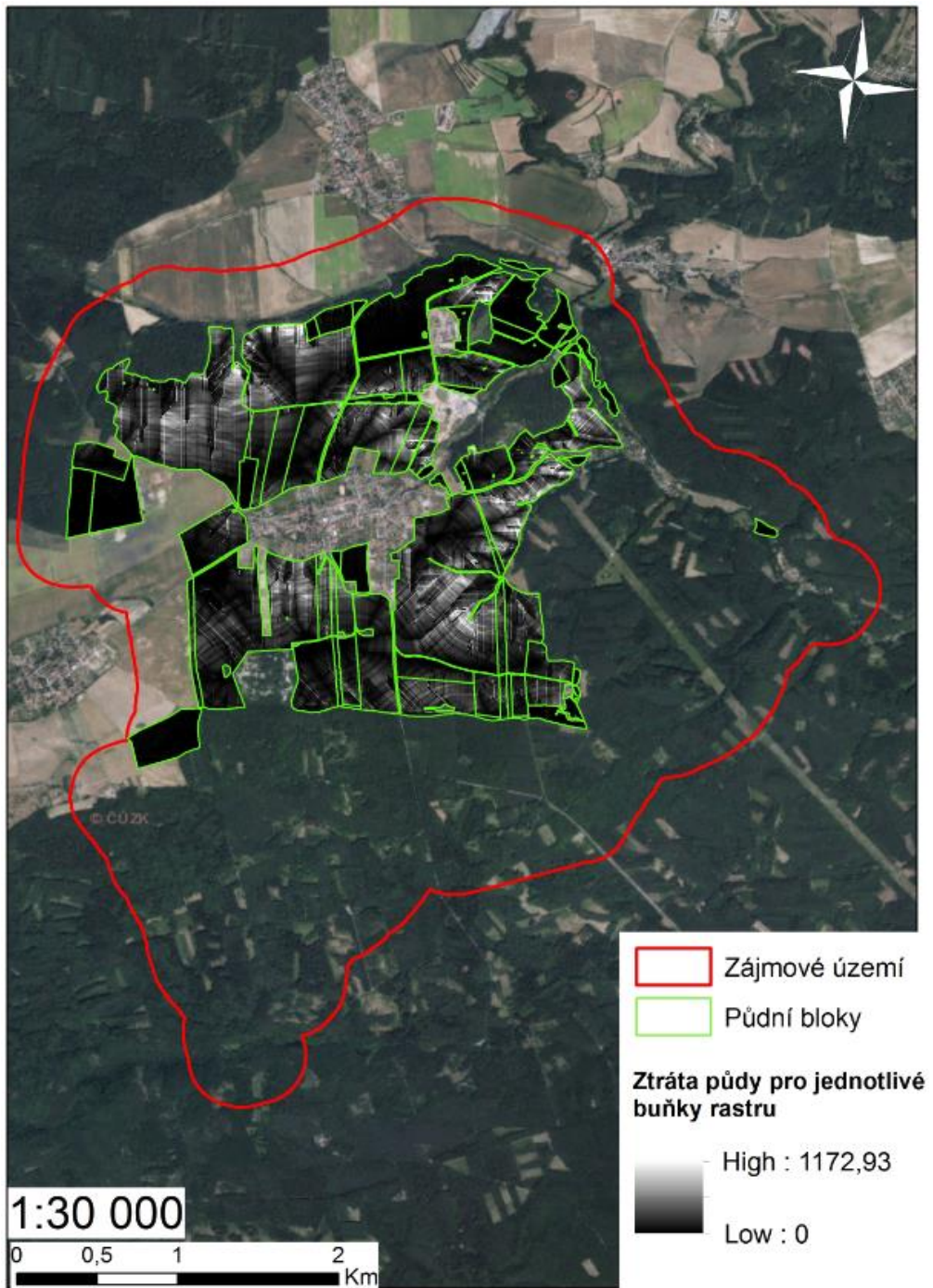
LS - rastrová vrstva topografického faktoru

C - rastrová vrstva faktoru ochranného vlivu vegetace

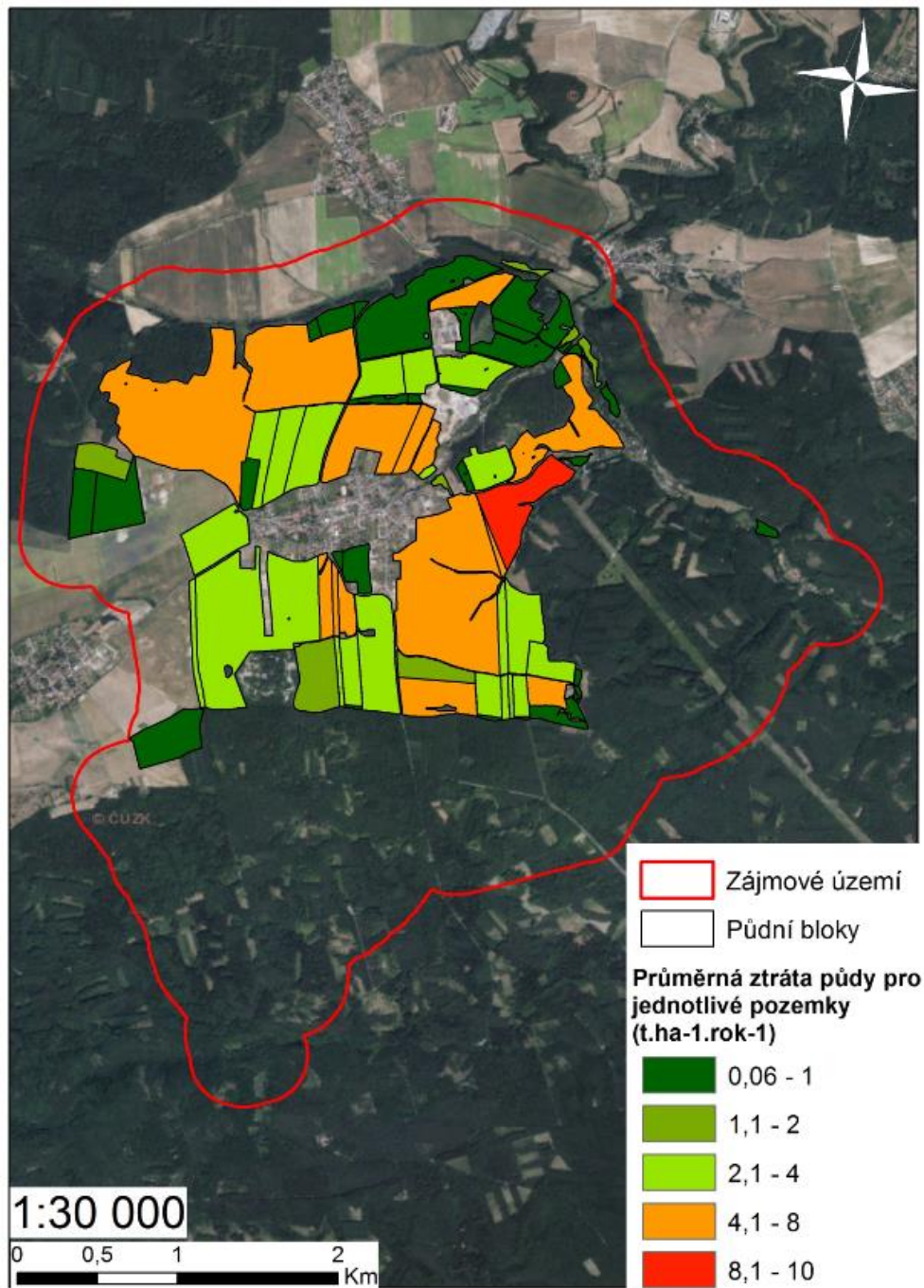
1 - hodnota faktoru účinnosti protierozních opatření P

Tímto postupem vznikne vrstva představující ztrátu půdy vodní erozí pro jednotlivé buňky rastru (Obr. 26). Pro získání průměrné ztráty půdy u jednotlivých pozemků byl použit nástroj *Zonal statistics*, kde byla jako vstupní data použita vrstva půdních bloků a vrstva ztráty půdy erozí pro jednotlivé buňky. Vznikla tak vrstva průměrné ztráty půdy pro jednotlivé půdní bloky (Obr. 27).

Půdní bloky v řešeném území jsou tvořeny půdami středně hlubokými a hlubokými. Přípustná ztráta půdy je tedy pro tyto pozemky $4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ (Janeček et al. 2012).



Obr. 26: Ztráta půdy pro jednotlivé buňky

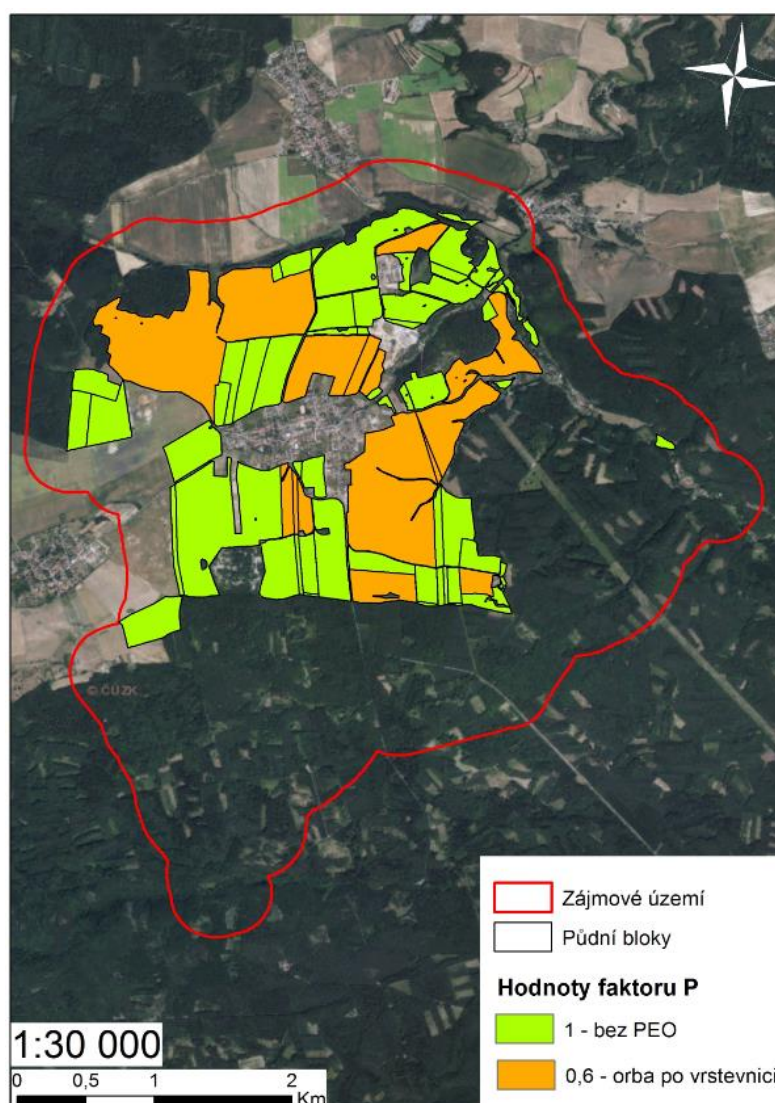


Obr. 27: Průměrná ztráta půdy pro jednotlivé půdní bloky

7. Výsledky

Z vyhodnocení míry erozního ohrožení u pozemků v katastrálním území Bratronice u Kladna vyplývá, že u 14 půdních bloků dosahuje průměrná ztráta půdy vyšších hodnot, než je přípustná ztráta půdy na těchto pozemcích. Na těchto pozemcích bylo jako protierozní opatření navržena orba po vrstevnici.

V atributové tabulce půdních bloků tedy vytvoříme nový sloupec faktoru P. U půdních bloků, kde byla navržena orba po vrstevnici, zapíšeme hodnotu 0,6. Je to hodnota faktoru P pro protierozní opatření orba po vrstevnici na pozemcích, jejichž sklon nepřesahuje hodnotu 7 %. Žádný z těchto pozemků nemá sklon vyšší než 7 %. U ostatních půdních bloků ponecháme hodnotu faktoru P = 1. Následně opět pomocí nástroje *Feature to raster* vytvoříme rastrovou vrstvu faktoru P (Obr. 28).



Obr. 28: Hodnoty faktoru P u půdních bloků v zájmovém území

Po přepočítání v nástroji *Raster calculator* bylo zjištěno, že zavedení tohoto protierozního opatření nesnížila průměrnou ztrátu půdy z pozemků pod přípustnou hranici $4\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Na erozně ohrožených pozemcích tak byl navržen protierozní oseední postup (Tab. 5, Oseední postup č.1). Tento oseední postup byl navržen na 5 let.

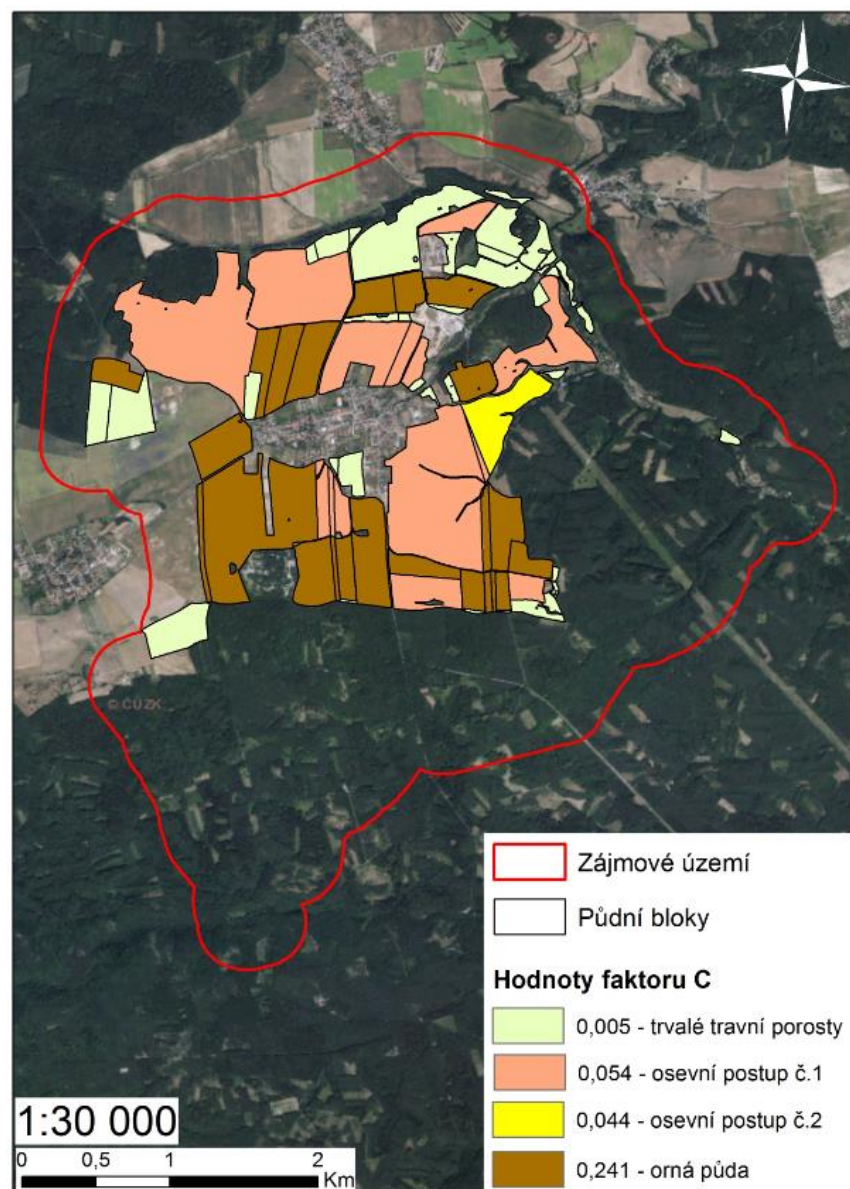
Z důvodu velkého množství osob hospodařících v zájmovém území nebylo možné získat pro všechny pozemky orné půdy přesné oseední postupy, z nichž by se získaly hodnoty faktoru C pro pěstební období jednotlivých plodin. Hodnoty faktoru C pro plodiny v navrženém protierozním oseedním postupu tak byly přiřazeny dle průměrných ročních hodnot pro tyto plodiny (Tab. 2). Následně se spočítala průměrná hodnota faktoru C pro tento oseední postup (Tab. 5).

Pro získání vrstvy s novými hodnotami faktoru C pro navržený oseední postup je nutné vytvořit v atributové tabulce nový sloupec faktoru C. U erozně ohrožených pozemků zapíšeme průměrnou hodnotu faktoru C pro oseední postup. U ostatních pozemků hodnoty ponecháme a opět spočítáme průměrnou ztrátu půdy na pozemcích. Po aplikaci těchto opatření byla téměř u všech ohrožených půdních bloků snížena průměrná ztráta půdy pod přípustnou hranici. Pouze u jednoho pozemku byla ztráta půdy nad $4\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Na tomto pozemku tak byl navržen jiný oseední postup (Tab 5, Oseední postup č.2). Jeho průměrnou hodnotu zapíšeme v atributové tabulce do sloupce faktor C. Poté byla vytvořena vrstva, která obsahuje hodnoty faktoru C (Obr. 29) a opět vypočítáme průměrnou ztrátu půdy na pozemcích. Z výsledného výpočtu bylo zjištěno, že po navržení protierozního opatření a oseedních postupů se u všech pozemků ohrožených erozí podařilo snížit průměrnou ztrátu půdy pod přípustnou hranici $4\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ (Obr. 30).

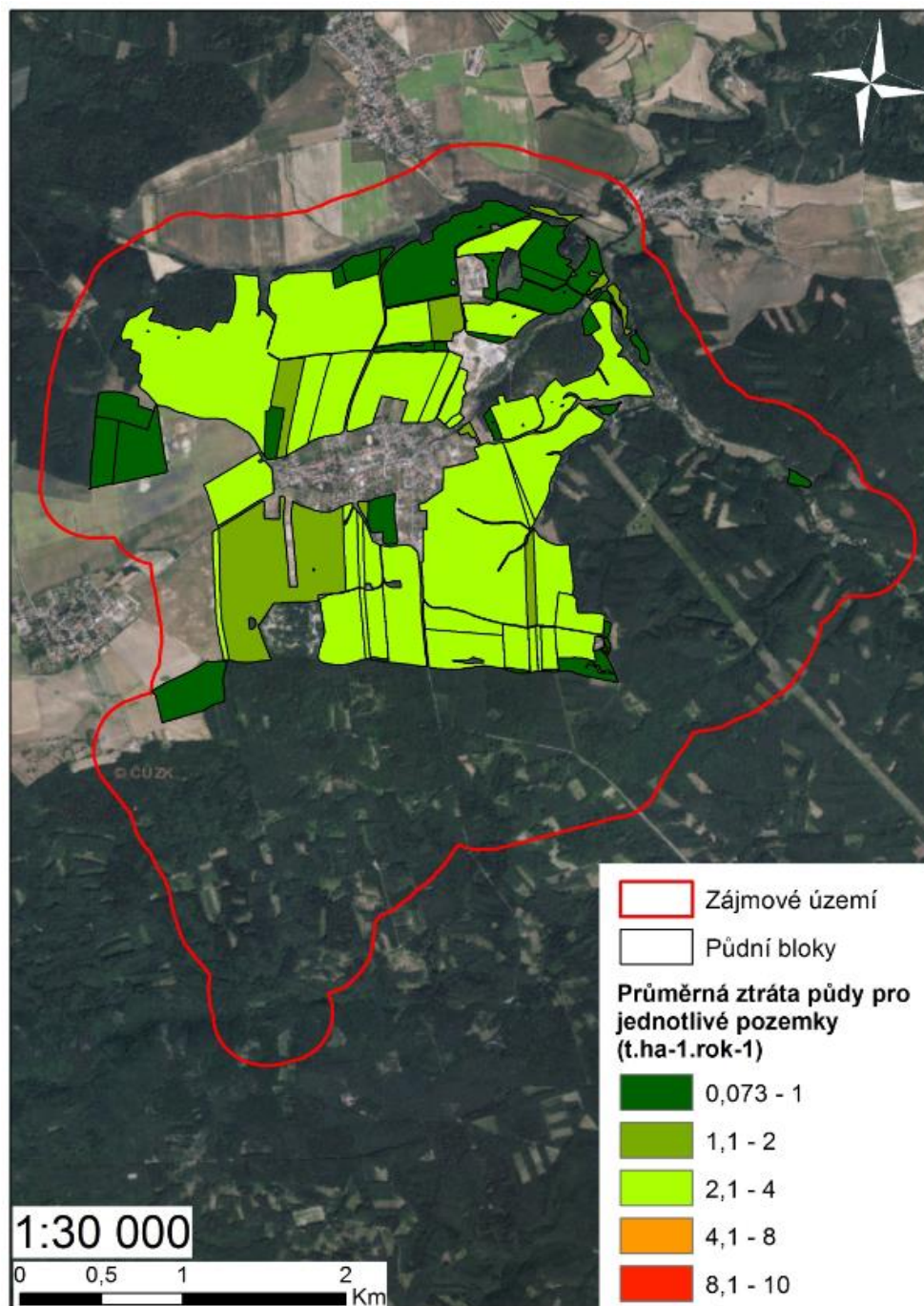
Při návrhu protierozních opatření je vhodné přednostně navrhovat opatření organizačního nebo agrotechnického charakteru (Janeček et al. 2012). Aplikace těchto opatření v řešeném území stačila ke snížení erozní ohroženosti na požadovanou úroveň. Ani při terénním průzkumu lokality nebylo zjištěno žádné ohrožení komunikací, vodních toků či intravilánu obce. Není tedy nutné zakládat technická protierozní opatření, tudíž nebyla řešena finanční náročnost realizace.

Rok	Osevní postup č.1	Faktor C	Osevní postup č.2	Faktor C
1	pšenice ozimá	0,12	vojtěška	0,02
2	jetel dvousečný	0,015	pšenice ozimá	0,12
3	oves	0,1	jetel dvousečný	0,015
4	jetel dvousečný	0,015	luštěniny	0,05
5	vojtěška	0,02	jetel dvousečný	0,015
Faktor C (∅)		0,054		0,044

Tab. 5: Navrhnuté osevní postupy



Obr. 29: Hodnoty faktoru C po navrhnutí osevních postupů



Obr. 30: Průměrná ztráta půdy u pozemků po aplikaci protierozních opatření

8. Diskuse

Pro určení erozní ohroženosti u zemědělských pozemků v katastrálním území Bratronice u Kladna byla použita metoda výpočtu pomocí Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy dle Wischmeiera a Smithe (1978) v prostředí programu ArcGIS. Tato metoda je v České republice nejrozšířenějším nástrojem pro posuzování erozních procesů (Janeček et al. 2012). Důvodem je zejména její univerzálnost a relativně dostupné možnosti získávání vstupních dat (Brychta, Petřů 2016). Nevýhodou této metody je, že udává pouze dlouhodobou průměrnou roční ztrátu půdy, která se z pozemku uvolňuje vodní erozí. Nezahrnuje však ukládání půdy na pozemku, či na plochách ležících pod ním (Janeček et al. 2012).

Zájmové území bylo hodnoceno z hlediska ohroženosti vodní erozí dle metodiky Ochrana zemědělské půdy před erozí (Janeček et al. 2012). Hlavní rozdíl mezi starší metodikou a metodikou novou vydanou v roce 2012 je hodnota faktoru erozní účinnosti deště R pro Českou republiku, která se zvýšila z $20 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ na $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$.

Pro efektivní protierozní ochranu je důležité nalézt vhodnou kombinaci takových opatření v krajině, která zvyšují přirozenou retenci a akumulaci vody (Dumbrovský 2005). To potvrzuje Vašků (2005) tím, že péče o půdu a krajinu zahrnující hlavně posilování jejich retenčních, akumulačních, infiltračních, drenážních a protierozních funkcí je neúčinnějším nástrojem jak zmírnit popřípadě zcela eliminovat následky náhlých přívalových srážek.

Samotný návrh protierozních opatření je nutné posuzovat komplexně s přihlédnutím k množství často protichůdných faktorů. Měly by být v rovnováze zájmy vlastníků či uživatelů orné půdy na jedné straně a zájmy ochrany krajiny a půdního fondu na straně druhé. Ne vždy však lze tyto zájmy skloubit do ideálního návrhu.

Ze tří základních skupin opatření proti vodní erozi byla při návrhu protierozních opatření v zájmovém území upřednostněna opatření organizační a agrotechnická. Tato opatření jsou doporučována vyhláškou č.545/2002 Sb. o postupu při provádění pozemkových úprav. Také jsou, na rozdíl od technických opatření, finančně i realizačně méně náročná a zároveň jsou dostačující pro snížení erozního ohrožení v řešeném území. V návrzích protierozních opatření je potřeba skloubit maximální efektivitu opatření s podmínkou nenáročnosti a minimálního omezení uživatele pozemků. Už při tvorbě návrhů je třeba vycházet uživateli vstříc.

Jako základní organizační opatření uvádí Holý (1978) úpravu osevních postupů. Při správném použití jsou osevní postupy významným prostředkem k ochraně půdy před erozí. Skladbu osevních postupů je nutno volit tak, aby se v rotaci plodin vyskytovalo co nejvíce plodin s ochranným účinkem. Základem protierozní ochrany je volba vhodných plodin pro pěstování na daném území a způsob jejich obhospodařování. Uživatel má možnost zvolit si takový osevní postup, který bude vyhovovat jeho potřebám a zároveň pomůže snížit hodnotu faktoru C, a tím i výsledný erozní smyv. Podle Janečka et al. (2012) nejefektivnější protierozní ochranu povrchu půdy před účinky dopadajících dešťových kapek poskytují travní porosty, jetel a vojtěška, nejméně pak širokořádkové plodiny (kukuřice, okopaniny). Je však pouze na uživateli pozemku, jestli zvolí takový osevní postup, aby průměrná hodnota tohoto faktoru ve výsledku kladným způsobem ovlivnila přípustnou ztrátu půdy erozí. Otázkou je, zdali je ovšem ochoten takový postup v praxi aplikovat, a to z různých důvodů, jakými je např. zisk nebo potřeba pěstování plodin za účelem krmiva pro hospodářská zvířata.

Konečná et al. (2014) uvádí, že degradace půdy vodní erozí se zatím zdánlivě neprojevila na ekonomickém výnosu podniků, jelikož nárůst výnosů byl mnohem rychlejší než ztráta půdy. Tento stav však není uspokojivý, neboť je to způsobeno zejména díky zavedení nových technologií a intenzivním vnosům do půdy. Pokud již dojde k degradaci půdy způsobenou vodní erozí, je náprava těchto škod velmi drahá a časově náročná. Je tedy jednodušší a ekonomičtější půdu chránit a předcházet jejím ztrátám. Ekonomické zhodnocení aplikovaných opatření na ochranu půdy před erozí spočívá v porovnání finančních nákladů na jejich realizaci a údržbu a přínosů vyplívajících z těchto opatření. Ekonomické náklady lze stanovit podle skutečných cen za provedení určitých typů opatření nebo normativně pomocí ceníků. Přínosy z realizace protierozních opatření se stanovují jako rozdíl mezi oceněnými následky eroze před a po realizaci protierozních opatření.

I přes to, že se náklady na návrh a realizaci některých druhů protierozních opatření mohou zdát jako neúměrně vysoké, není vhodné tato opatření odmítat jen z důvodu jejich zdánlivé neekonomičnosti. Zejména technická protierozní opatření jsou zaváděna na velmi dlouhou dobu. Hodnota uchráněné půdy se tak v průběhu času bude zvyšovat (Konečná et al. 2014).

Jedním z důvodů, proč je zavedení jednoduchých protierozních opatření do praxe pomalé a obtížné je fakt, že v rámci České republiky na většině zemědělských ploch hospodaří subjekty, které nejsou jejími vlastníky. Tento stav výrazně přispívá

k tomu, že je zemědělská půda chápána pouze jako výrobní prostředek, jehož hlavním účelem je přinášet pouze maximální zisk (Janota 2012).

9. Závěr a přínos práce

Cílem této práce bylo vyhodnocení erozí ohroženosti zemědělských pozemků v katastrálním území Bratronice u Kladna a v případě zjištění nadlimitní ztráty půdy na pozemcích navrhnout vhodná a dostatečně účinná protierozní opatření. Samotná analýza ohroženosti pozemků vodní erozí byla provedena pomocí metody USLE v programu ArcGIS.

Pro vyhodnocení erozní ohroženosti v programu ArcGIS bylo nutné nejprve vytvořit z podkladových dat Digitální model terénu a následně stanovit jednotlivé faktory rovnice USLE.

Z výsledného vyhodnocení bylo zjištěno, že u 14 pozemků orné půdy dosahovala průměrná ztráta půdy hodnot nad přípustnou hranici $4t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$. U těchto pozemků byla navržena protierozní opatření, konkrétně se jednalo o návrh protierozních osevních postupů a orba po vrstevnici. Tato opatření se ukázala jako dostatečná, neboť snížila průměrnou ztrátu půdy na pozemcích pod přípustnou hranici. Stanovených cílů práce tak bylo dosaženo. Tato práce může sloužit jako podklad pro pozemkové úpravy v řešeném katastrálním území nebo jako inspirace pro uživatele zemědělských pozemků.

Aby bylo předcházeno ztrátám kvalitní půdy na erozně ohrožených pozemcích, je nutné na těchto pozemcích zvolit vhodný systém hospodaření a zpracování půdy. Vynaložením nákladů na realizaci různých druhů opatření k snížení ztráty půdy je možné v konečném důsledku zvýšit celkové výnosy z pěstovaných plodin nebo alespoň docílit toho, aby tyto výnosy neklesaly. Provedení protierozních opatření či pozemkových úprav nemusí mít pozitivní vliv jen na úrodnost půdy, ale může vést i k celkovému zvýšení biodiverzity v území a zlepšení životního prostředí pro zvěř, například vytvořením nových biokoridorů.

Obecně lze říci, že důsledná ochrana půdy před negativními účinky eroze je nezbytná. Využitím přírodě blízkých ochranných opatření a dlouhodobě udržitelných výrobních postupů lze zachovat budoucím generacím životaschopnou a funkční krajinu. Pokud však bude pro uživatele půdy hlavní motivací maximální zisk, bude degradace zemědělské půdy velmi rychle pokračovat, což by v budoucnu mohlo znamenat neřešitelný problém.

10. Přehled literatury a použitých zdrojů

- Blanco H., Lal R., 2008: Principles of Soil Conservation And Management. Springer Science+Business Media B.V., Ohio. 617 s.
- Blažková M., 1996: Geologie a životní prostředí. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Ostrava.
- Brychta J., Petruš J., 2016: Základy hodnocení vodní eroze pomocí GIS, Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Dufková J., 2007: Comparison of potential and real erodibility of soil by wind. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, roč. 55, č. 4, s. 15-21.
- Dumbrovský M., Milerski R., 2005: Vodní hospodářství krajiny II, VUT Brno, 233 s.
- Dumbrovský M., 2005: Integrované hodnocení faktorů ovlivňujících erozní a odtokové poměry v povodí. Pozemkové úpravy. 2005 (54). s. 12-15
- Dostál T., Krása J., Kavka P., Vrána K., Devátý J., Kadlec V., Novotný I., Kulířová P., Heřmanovská D., Papaj V., Kapička J., Váňová V., 2014: Využití dat a nástrojů GIS a simulačních modelů k návrhu TPEO, Praha.
- Fulajtár E., Janský L., 2001: Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana. Výskumný ústav pôdoznectva a ochrany pôdy, Bratislava, 310 s.
- Holý M., 1978: Protierozní ochrana. Státní Nakladatelství technické literatury, ALFA. Praha, Bratislava. 288 s.
- Holý M., 1994: Eroze a životní prostředí. Vydavatelství ČVUT Praha, 383 s.
- Janeček M. et al., 2008: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Janeček M., Dostál T., Kozlovsky-Dufková J., Dumbrovský M., Hůla J., Kadlec V., Konečná J., Kovář P., Krása J., Kubátová E., Kobzová D., Kudrnáčová M., Novotný I., Podhrázská J., Pražan J., Procházková E., Středová H., Toman F., Vopravil J., Vlasák J., 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí, metodika. Česká zemědělská univerzita Praha, Fakulta životního prostředí. Praha. 113 s.

Janota P., 2012: Eroze a protierozní opatření ve vybraném území. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Praha. 58 s.

Javůrek M., Vach M., 2008: Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha.

Konečná J., Pražan J., Podhrázská J., Kučera J., Koutná K., Fiala R., 2014: Hodnocení ekonomických aspektů protierozní ochrany zemědělské půdy, Certifikovaná metodika. VÚMOP, v.v.i. Praha. 50 s.

Kozlík V., Alena F., Mališ O., 1961: Ochrana pôdy pred vodnou eróziou. 1. vyd. Bratislava: Slov. vyd. pôdohospod. lit., 228 s.

Lal R., 2001: Soil degradation by erosion. Land Degradacion & Development, vol. 12, no. 6, p. 519-539.

Lankoski J., Ollikainen M., Uusitalo P., 2006: No-till technology: benefits to farmers and the environment? Theoretical analysis and application to Finnish agriculture. European Review of Agricultural Economics Vol 33 (2006), 193–221 s.

Leh M., Bajwa S.,Chaubey I., 2011: Impact of land use change on erosion risk: An integrated remote sensing, geographic information system and modeling methodology, online:
<https://engineering.purdue.edu/ecohydrology/Pubs/2011%20LDD%20Leh-BajwaChaubey.pdf>, cit: 12. 2. 2018.

Licht M.A., Al-Kaisi M., 2005: Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. Soil & Tillage Research 80 (2005), 233-249 s.

Mitas L., Mitasova H., 1998: Distributed erosion modeling for effective erosion prevention. *Water Resources Research* Vol. 34, No. 3, p. 505-516.

Morávková M., 2011: Vyhodnocení vlivů změny č. 4 ÚPNSÚ Bratronice na životní prostředí, online: <https://www.bratronice.cz/file.php?nid=625&oid=2327021>, cit: 30. 1. 2018.

Morgan R.P.C., 1979: *Soil erosion*. New York: Longman.

Morgan R.P.C., 2005: *Soil erosion and conservation*. Blackwell Publishing, Malden: 1-44.

Murray C.A., 2002: *NHDOT Guidelines for Temporary Erosion and Sediment Control and Stormwater Management*. Department of transportation, New Hampshire, online: <https://www.nh.gov/dot/org/projectdevelopment/construction/documents/erosioncontrolmanual.pdf>, cit. 12. 2. 2018.

MZe, 2011: *Příručka ochrany proti vodní erozi*. Ministerstvo zemědělství, Praha.

MZe, 2017: *Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy*. Ministerstvo zemědělství, Praha.

Pasák V., 1966: *Struktura půdy a větrná eroze*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., Praha.

Pasák V., 1990: *Zásady ochrany půdy před větrnou erozí*. Sborník referátů: Protierosní ochrana v zemědělství ve vztahu k životnímu prostředí., ČSVTS Praha, str. 91-98.

Pasák V., 1994: *Větrná eroze půdy*. *Úroda*, roč. 42, č. 9, s. 12–13.

Pistocchi A., 2002: Use of the USPED model for mapping soil erosion and managing best land conservation practices, online: http://www.iemss.org/iemss2002/proceedings/pdf/volume%20tre/331_pistocchi.pdf, cit: 12. 2. 2018.

Podhrázská J., Dufková J., 2005: Protierozní ochrana půdy, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Agronomická fakulta, Brno, 99 s.

Renard K.G., Yoder D.C., 2010: Universal Soil Loss Equation and Revised Universal Soil Loss Equation. USDA, ARS, Southwest Watershed Research Center, Tucson, AZ, USA.

Robinson A.R., 1973: The problem with sediment. In: Proceedings of the Georgia Governor's Conference on Sediment Control, Athens, Georgia, State Soil and Water Conservation Committee, p. 5-12.

Stankoviansky M., Pecho J., Jenčo M., Juhás J., 2008: Geomorphic response of dry valley basin to large-scale land use changes in the second half of the 20th century and problems with its reconstruction. Moravian geographical reports, Vol. 16, 4/2008.

Šarapatka B., 2014: Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, 240 s.

Tisdall J.M. et al., 2003: Stabilisation of soil against wind erosion by six saprotrophic fungi. Soil Biology and Biochemistry, 50: 134-141 s.

Vašků Z., 2005: Půda je naším největším bohatstvím. Pozemkové úpravy. 2005 (54). s. 16-17.

Voltr V., 2011: Hodnocení půdy v podmínkách ochrany životního prostředí. Praha: Ústav zemědělské ekonomiky a informací, 480 s.

Vyhláška č. 545/2002 Sb., o postupu při provádění pozemkových úprav a náležitostech návrhu pozemkových úprav.

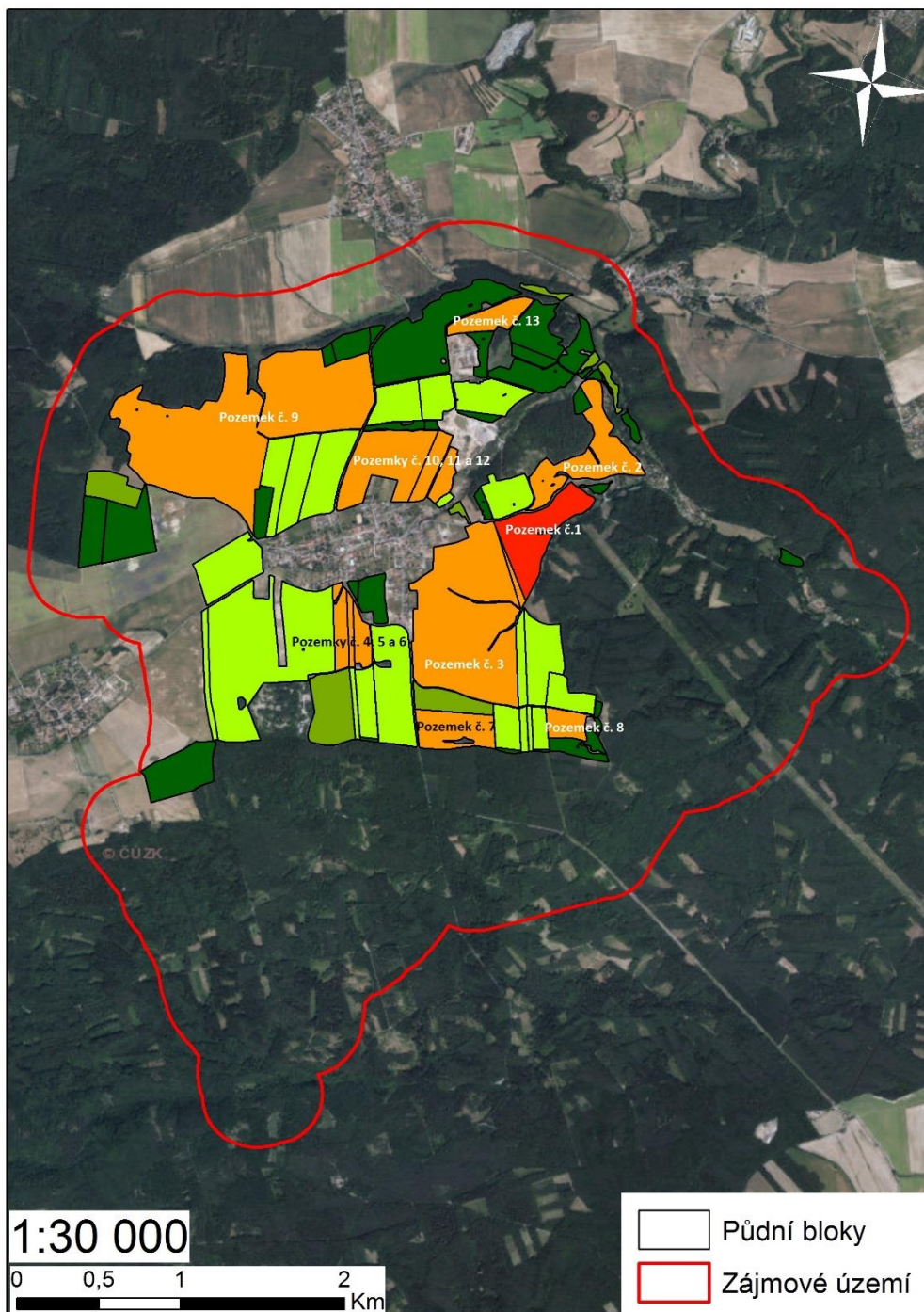
Vysloužilová B., Kliment Z., 2012: Modelování erozních a sedimentačních procesů v malém povodí. Geografie, ročník 117, č. 2, 170-191 s.

Wischmeier W.H., Smith D.D., 1978: Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning, Arg. Handbook, U.S. Dept.of Agriculture, Washington, D.C., 537 s.

Zachar D. 1970: Erózia pôdy. Vydavateľstvo slovenskej akadémie vied. Bratislava: 528 str.

Zákon č. 139/2002 Sb., o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech a o změně zákona č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, v platném znění.

11. Přílohy



Příloha č. 1: Přehled erozně ohrožených pozemků (oranžové a červené)



Příloha č. 2: Východní část pozemku č. 1, který byl nejvíce ohrožen vodní erozí



Příloha č. 3: Východní část pozemku č. 1, který byl nejvíce ohrožen vodní erozí



Příloha č. 4: Severní část pozemku č. 1, který byl nejvíce ohrožen vodní erozí



Příloha č. 5: Západní část pozemku č. 1, který byl nejvíce ohrožen vodní erozí



Příloha č. 6: Erozně ohrožený pozemek č. 2



Příloha č. 7: Erozně ohrožený pozemek č. 3



Příloha č. 8: Erozně ohrožené pozemky č. 4, 5 a 6



Příloha č. 9: Erozně ohrožené pozemky č. 4, 5 a 6



Příloha č. 10: Erozně ohrožený pozemek č. 7



Příloha č. 11: Erozně ohrožený pozemek č. 8



Příloha č. 12: Jižní část erozně ohroženého pozemku č. 9



Příloha č. 13: Severní část erozně ohroženého pozemku č. 9



Příloha č. 14: Severní část erozně ohroženého pozemku č. 10



Příloha č. 15: Jižní část erozně ohroženého pozemku č. 10



Příloha č. 16: Erozně ohrožené pozemky č. 11 a 12



Příloha č. 17: Erozně ohrožený pozemek č. 13