

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY

**HISTORICKÁ ANALÝZA EROZNÍ OHROŽENOSTI
NA ÚZEMÍ ORP DOBŘÍŠ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Josef Vlasák, Ph.D.

Diplomant: Bc. Radim Weber

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra biotechnických úprav krajiny

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Radim Weber

Regionální environmentální správa

Název práce

Historická analýza erozní ohroženosti na území ORP Dobříš

Název anglicky

Historical Analysis of Soil Erosion in Area of Dobříš Municipality

Cíle práce

Na základě porovnání historických podkladů stabilního katastru daného území a současných informací (polohopisných, výškopisných, zemědělského obdělávání) zjistíte rozdíl mezi historickým a současným využíváním krajiny s ohledem na změnu ohroženosti území vodní erozí. V případě vysoké současné ohroženosti území navrhnete vhodná protierozní opatření v území.

Metodika

Ve zvoleném území určete současnou a historickou míru erozní ohroženosti, oba výsledky porovnejte a v případě potřeby navrhnete protierozní opatření s ohledem na výsledky historické analýzy. Využijte univerzální rovnici půdy USLE a prostředí GIS, na počátku práce vyhotovte terénní průzkum včetně fotodokumentace území.

Doporučený rozsah práce
cca 40 stran textu plus přílohy

Klíčová slova

Stabilní katastr, vodní eroze, erozní ohroženost, protierozní opatření, GIS, USLE

Doporučené zdroje informací

- BIČÍK, Ivan et al. Vývoj využití ploch v Česku. Praha: Česká geografická společnost, 2010. ISBN 978-80-904521-3-8.
- HENGL, T., REUTER, H.I. (eds.), 2009. Geomorphometry: concepts, software, applications. 1 st ed. Amsterdam: Elsevier, 765 p. (Developments in soil science, vol. 33). ISBN 978 0 12 374345 9
- HŮLA, Josef. Agrotechnická protierozní opatření. Praha: VÚMOP, 2003
- JANEČEK, Miloslav et al. Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. Praha: VÚMOP, 2007. ISBN 978-80-254-0973-2
- KOLEJKA, Jaromír. Nauka o krajině: geografický pohled a východiska. Vyd. 1. Praha: Academia, 2013, 439 s., xxxvi s. obr. příl. ISBN 978-80-200-2201-1.
- SKLENIČKA, Petr. Základy krajinného plánování. 2. vyd. Praha: Naděžda Skleničková, 2003. ISBN 80-903206-1-9.

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Josef Vlasák, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 1. 4. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 08. 04. 2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Josefa Vlasáka Ph.D., a že jsem uvedl všechny literární prameny a datové zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....

Poděkování:

Rád bych poděkoval Ing. Josefu Vlasákovi Ph. D. za vedení diplomové práce a cenné rady při jejím zpracování, Mgr. Pavlu Raškovi Ph.D. za informace z oboru geomorfologie a GIS, Ing. Mileně Valíčkové, Českému úřadu zeměměřickému a katastrálnímu a Výzkumnému ústavu meliorací a ochrany půdy za poskytnutá data, Městskému úřadu Dobříš, mému zaměstnavateli, za poskytnutí software ke zpracování této práce a umožnění studií, a v neposlední řadě své rodině za podporu při studiu.

.....

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá hrozbou vodní eroze v konkrétním území, kterým jsou obce Obořiště a Svaté Pole. Základním cílem práce je porovnat sledované území z hlediska ohrožení vodní erozí ve dvou různých obdobích vývoje krajiny, v době první poloviny 19. století a současnosti. Autor vycházel z předpokladu, že naši předci ve sledovaném území se ke krajině chovali a hospodařili v ní lépe, než současní hospodáři. Po analýze obou zkoumaných období je zjištěno, že se ve sledovaném území domněnka potvrdila. Dalšími cíli navazujícími na výsledek základního výstupu jsou vytipování lokalit v zájmovém území, které je potřeba intenzivněji chránit před následky vodní eroze a návrh vhodných protierozních opatření. Řešení daného cíle je provedeno pomocí geografických informačních systémů (GIS) a

jejich nástrojů pro modelování analýz, práci s rastrovými soubory a jejich výpočty. Pro získání relevantních údajů o vodní erozi je použita univerzální rovnice dlouhodobé ztráty půdy (USLE) Wishmaiera a Smithe. Získání jednotlivých faktorů rovnice USLE vychází z terénního průzkumu a studia informací z dostupných zdrojů z první poloviny 19. století, především císařských otisků map Stablního katastru. Přínos diplomové práce spočívá v tom, že výstupní informace lze použít jako podklad pro různé formy krajinného plánování a také pro prevenci škod na zemědělské půdě, majetku a života v důsledku jevů spojených s vodní erozí.

Klíčová slova: vodní eroze, geografické informační systémy (GIS), univerzální rovnice dlouhodobé ztráty půdy (USLE), erozní ohroženost, protierozní opatření, Stablní katastr.

Abstract:

The thesis discusses the risks caused by water erosion in a particular area, which includes villages Obořiště and Svaté Pole. The main goal of the thesis is to compare both studied areas in terms of water erosion threat during two different eras, first half of the 19th century and the present. The author based on the assumption, that our ancestors in the studied area farmed better than the current man was constituted. After analyzing both eras, it was determined, that the supposition was confirmed. The secondary objectives following the results of primary output are to identify places in the studied area, which need intensive protection from negative effects of water erosion, and design appropriate erosion control measures. The solution of these objectives are accomplished using geographical information systems (GIS) and its tools for modeling and raster analyses and their calculation. To obtain relevant data about water erosion, the universal soil lost equitation (USLE) by Wishmaier and Smith was used. Creating each individual factor of USLE is based on landscape research and study of available sources from the 19th century and the present, for instance the maps of the Stable register (1824-1848) were used as an example. The contribution of this thesis lies in using output information for landscape planning that helps to prevent damage on agricultural land, property and life due to various phenomenon associated with water erosion.

Keywords: water erosion, geographical information systems (GIS), universal soil lost equataion (USLE), erosion risks, erosion control measure, Stable register.

1 Obsah

1.	Úvod.....	9
2.	Cíle diplomové práce.....	10
3.	Literární rešerše	11
3.1.	Eroze.....	11
3.2.	Určení ohroženosti pozemků vodní erozí	12
3.3.	Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy.....	14
3.3.1.	Faktor erozní účinnosti přívalového deště (R)	15
3.3.2.	Faktor erodovatelnosti půdy (K)	15
3.3.3.	Faktor délky a sklonu svahu (L, S)	17
3.3.4.	Faktor ochranného vlivu vegetace (C)	19
3.3.5.	Faktor účinnosti protierozních opatření (P).....	19
3.4.	Využití GIS při výpočtech USLE.....	20
3.5.	Protierozní opatření	21
3.5.1	Protierozní opatření organizačního charakteru.....	22
3.5.2	Protierozní opatření agrotechnického charakteru.....	23
3.5.3	Protierozní opatření technického charakteru.....	23
4.	Charakteristika studijního území	25
5.	Metodika	29
5.1	Data a softwarové prostředky.....	29
5.2	Digitální model terénu	30
5.3	Faktory erozní ohroženosti	31
5.3.1	Faktor-R.....	31
5.3.2	Faktor – K	32
5.3.3	Faktor – LS.....	33
5.3.4	Faktor – C	37
5.3.5	Faktor – P	39

5.4	Průměrná dlouhodobá ztráta půdy, výpočet rovnice USLE	40
6.	Výsledky práce	41
6.1	Výpočet USLE pomocí GIS	41
6.2	Porovnání erozní ohroženosti sledovaných období.....	42
6.3	Návrh protierozních opatření	44
7.	Diskuse	49
8.	Závěr.....	52
9.	Přehled literatury a použitých zdrojů.....	53
10.	Seznam obrázků	57
11.	Seznam tabulek	59

1. Úvod

Vývoj kulturní krajiny v České republice lze datovat do doby, kdy člověk změnil své chování a z člověka lovce a sběrače se stal člověkem zemědělcem. V té době začal přírodu kolem sebe upravovat tak, aby bylo možné usadit se na jednom místě a využívat bohatství krajiny ve svém okolí (Havrlant, Buzek, 1985). Čím více se blížíme současnosti, tím jsou změny intenzivnější. Dnešní krajina je mozaikou přírody a kultury (Lipský, 1999). Mezi nejvýznamnější faktory změn krajiny můžeme zařadit především zemědělství a lesnictví (Sklenička, 2003). Na území České republiky je cca 50% orné půdy ohroženo vodní erozí a na velké části těchto ploch není prováděna systematická ochrana, která by zamezovala ztrátě půdy (Janeček a kol., 2012).

Významným zdrojem historických informací o hospodářském využití území z první poloviny 19. století jsou mapy stabilního katastru. Pro sledování změn v krajině jsou vhodné tzv. povinné císařské otisky stabilního katastru, což jsou kopie originálních map, pořizovaných přímo v terénu v Čechách v letech 1826 – 1843, na Moravě a ve Slezsku 1824 – 1836 (Brůna a kol., 2005). Tyto mapy nám umožňují porovnat způsoby hospodaření v 19. století se současností. Jedná se především o jasnou a se současnými daty velmi podobnou interpretací katastrálních map (Brůna a kol., 2005). Sledování změn v mikrostruktuře krajiny může být užitečné jak v teoretické rovině, kde lze hodnotit množstevní přeměny jednotlivých složek, tak v praktické rovině, kde se můžeme zaměřit na aplikace ochrany přírody a krajiny, zemědělského půdního fondu i majetků a životů obyvatel. Praktické aplikace takového hodnocení lze využívat při navrhování protierozních opatření, revitalizačních projektech například vodních toků (Brůna a kol., 2005).

Pojem eroze se pravidelně v literatuře objevuje od 30. let 20. století především zásluhou amerického erodologa Benneta (Janeček a kol., 2008). Spolu se vznikem erodologie jsou zde i tendence jak číselně vyjádřit erozní ohroženost. První vzorce ze 40. let 20. století dokázaly pouze odhadnout průměrné množství ztráty půdy na základě výzkumu sklonu a délky svahů. Postupným vývojem se z původního „odhadu“ vyvinula zatím nejdokonalejší rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy USLE Wischmaiera a Smithe v roce 1978 a následně její revidovaná verze (Janeček a kol., 2008).

S rozvojem informačních technologií se stále častěji pro analýzy historických map používají geografické informační systémy (GIS). Velký rozmach zažívají teprve v posledních dvaceti letech. Pomocí GIS softwarů je možné promítnout historická data spolu se současnými. Je možné, že v současné době je erozní ohroženost menší, než byla v době vzniku stabilního katastru? Je potřeba aplikovat protierozní opatření, nebo je dnes správa a údržba zemědělské půdy vzhledem k vodní erozi v pořádku? Je potřeba vymýšlet nové metody a nástroje ochrany půdy, nebo by stačilo převést metody a rozsah hospodaření našich předků do naší doby?

2. Cíle diplomové práce

Hlavním cílem diplomové práce je porovnání historických podkladů stabilního katastru se současným stavem krajiny a hospodaření v ní na území obcí Obořiště a Svaté Pole ve správním obvodu obce s rozšířenou působností Dobříš. Podklady budou porovnány pomocí analýzy erozní ohroženosti výpočtem univerzální rovnice ztráty půdy (USLE). Na základě těchto výsledků bude zjištěn rozdíl mezi původním využíváním krajiny a tím současným. K výpočtu průměrného dlouhodobého smyvu orné půdy budou využity aplikace geografických informačních systémů (GIS) a jejich nadstavby. Dalšími cíli navazujícími na výsledek základního výstupu jsou vytipování lokalit v zájmovém území, které je potřeba intenzivněji chránit před následky vodní eroze a návrh vhodných protierozních opatření, pokud bude v rámci zpracování diplomové práce zjištěno, že současná erozní ohroženost území je vysoká.

3. Literární rešerše

3.1. Eroze

Janeček a kol. (2008) charakterizuje erozi jako přírodní proces, při kterém působením vody, větru, ledu a případně dalších činitelů dochází k narušování povrchu půdy a transportu půdních částic a jejich následnému usazování. Její působení pomáhá tvorbě reliéfu krajiny. Samotný výraz „eroze“ se v literatuře začíná objevovat ve 30. a 40. letech 20. století, především zásluhou amerického erodologa H.H. Benneta. Ten již v roce 1939 rozlišuje erozi normální, geologickou a erozi zrychlenou, která je způsobována především lidskou činností. Zároveň jako první definuje úkoly ochranných opatření. Eroze půdy dle Janečka a kol. (2008) ochuzuje zemědělské půdy o nejúrodnější část, zhoršuje fyzikálně - chemické vlastnosti půd, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, poškozují plodiny a kultury, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztrátu osiv a sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin.

Eroze lze dělit podle několika hledisek. Základní třídění je podle erozních činitelů na vodní (fluviální), větrnou (eolickou), ledovcovou (glaciální), sněhovou (nivální) a další. (Janeček a kol., 2008). Vodní eroze, která spočívá v rozrušování zemského povrchu vodou, lze dále rozdělit podle formy narušení půdy na plošnou, výmolnou a proudovou. Působením plošné eroze se profil půdy postupně snižuje. Její první fází je kapková eroze, která vytváří v půdě drobné jamky. Další fáze eroze probíhá při pohybu vody po nakloněné ploše půdního pokryvu. Soustředěním plošného odtoku vzniká rýžková eroze v rozsahu několika centimetrů. Při silnějším odtoku potom můžeme pozorovat prohlubování stružek a vznik erozní rýhy různé velikosti a tvaru. Srážková voda může erozně působit nejen na povrchu, ale také může způsobovat podpovrchovou erozi. Zachar (1970) jí chápe jako mechanické vyplavování jemných frakcí půdy gravitační vodou mezi agregáty, která přispívá ke skeletizaci půdy. Erozi je také možné dělit podle její intenzity. Ta se zpravidla vyjadřuje ztrátou (odnosem) půdy v t. ha⁻¹ za určité časové období. Pokud hodnota ztráty půdy nepřekročí její tvorbu zvětráváním, jedná se o normální (přirozenou) erozi (Janeček a kol., 2008). Nelze však paušálně určit přesnou hodnotu přirozeného odnosu půdy pro všechny lokality. Bennett (1955) považuje za přirozenou míru půdního smyvu 0,3 – 1,6 t.ha⁻¹. rok⁻¹. Zachar (1970) se pohybuje v rozmezí 0,25 – 1,5 t.ha⁻¹. rok⁻¹. Všechny tyto údaje je nutné brát pouze jako orientační, jelikož intenzita a kvalita zvětrávání jsou velmi variabilní (Janeček a kol., 2008).

Proces zrychlené eroze se začíná projevovat od doby, kdy člověk začal porušovat přirozený kryt půdy, jímž byla na většině území lesní společenstva. V českých zemích se změny krajiny výrazněji projevují od 12. století. Zrychlená eroze půdy je velmi vážným globálním problémem. Je však velmi obtížné určit rozsah, velikost a rychlost půdní eroze a její důsledky pro hospodářství a životní prostředí. Po zavedení intenzivního zemědělství lze sledovat až pětinašobný nárůst erozního smyvu půdy na

celém světě. Protože se jedná o přírodní proces, je možné její intenzitu výrazně omezit a umožnit trvalé využívání půd k pěstování zemědělských plodin. V českých podmínkách je protierozní ochrana důležitá především na svažitéch územích s mělce uloženým skalním podložím a vysokým obsahem štěrku. Téměř polovina orné půdy u nás je ohrožena erozí. Podmínky pro výskyt erozních procesů jsou velmi specifické. Problém eroze byl výrazně podceněn a v současnosti se potýkáme s jejími následky. Převážně je ohrožena jejich úrodnost, vznikají velké škody v intravilánech obcí, které jsou způsobeny nekoordinovaným odtokem povrchových vod a smyvem půdy ze zemědělských pozemků (Janeček a kol., 2008).

Následky vodní eroze jsou téměř nevratné, případně velice nákladné. Půda degradovaná tímto jevem má za následek rapidní snížení produkční schopnosti půd. Tento problém je trvalý od doby prvních zemědělců, ovšem v současnosti je větší než kdykoliv předtím (Janeček a kol., 2008). Degradace je nejčastěji definována jako pokles kvality způsobené nesprávným využitím lidmi. Již v roce 1939 zjistil Bennet výzkumem v hlavní produkční oblasti USA poklesy o 77% tam, kde byl erozí odstraněn humusový horizont (Bennet, 1939). Eroze dokáže změnit jak fyzikální tak chemické vlastnosti půdy, zejména její strukturu, texturu, objemovou hmotnost, vodní kapacitu, pórovitost, infiltrační schopnost a hloubku pro vývoj kořenů. Chemické vlastnosti a jejich ovlivnění vodní erozí má vliv na obsah humusu, organické hmoty a minerálních živin v půdě a obnažuje podorničí s nízkou přirozenou úrodností a vyšší kyselostí (Janeček a kol., 2008).

Proces eroze je ovlivněn kombinovaným působením přírodních a člověkem ovlivněných podmínek. Tyto faktory lze rozdělit na klimatické a hydrologické - zeměpisná poloha, nadmořská výška, množství, rozdělení a intenzita srážek, teplota, oslunění, výpar, odtok, výskyt směr a síla větrů, morfologické – sklon území, délka a tvar svahu, expozice, návětrnost, geologické a půdní – povaha horninového substrátu, půdní druh a typ, textura a struktura půdy, vlhkost, zvrstvení, obsah humusu, vegetační – hustota a délka trvání pokryvu a způsob využívání půdy – poloha a tvar pozemků, směr obdělávání, střídání plodin (Janeček a kol., 2008). Významnou možností na ochranu půdy před erozí jsou realizace pozemkových úprav v plánu společných zařízení, kde je možné navrhovat řadu protierozních opatření. Nedílnou součástí takových opatření je také spolupráce zemědělců hospodařících na erozně ohrožených pozemcích při respektu k zásadám správného hospodaření a vhodné volbě pěstovaných plodin. Důležitá je také ochota přijímat komplexní protierozní opatření (Janeček a kol., 2012).

3.2. Určení ohroženosti pozemků vodní erozí

Hlavní erozní činitelé se často výrazně liší i v rámci jednotlivých pozemků, s výjimkou klimatických podmínek. Proto je odhad ztrát půdy a návrh protierozních opatření nejefektivnější na lokální bázi (Janeček a kol., 2008). Zásadními faktory, které se podílí na průběhu eroze, jsou náchylnost půdy k erozi, potenciální erozní

účinnost deště a povrchového odtoku, vliv sklonu a délky svahu, vliv ochranného vegetačního krytu. Jednou z prvních myšlenek erodologie byl způsob vyčíslení ohrožení pozemků na základě matematických rovnic s ohledem na faktory způsobující erozi.

První empirický vztah odvozený Zinggem (1940) odhadoval průměrné roční ztráty půdy (G) vodní erozí na základě výzkumu sklonu (S) a délky (L) svahu. Ostatní faktory ovlivňující erozi zahrnul do konstantního čísla (C). Tím, že dnes víme, že všechny erozní činitele, vyjma klimatu, mohou být velice rozdílné, je konstantní číslo pro tolik faktorů značně zavádějící.

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

Postupným prohlubováním znalostí o vodní erozi se zdokonalovaly také rovnice pro výpočet erozního ztráty půdy. Smith (1941) rozšířil Zinggovu rovnici o faktor protierozních opatření (P), se kterými Zingg počítal pouze jako s konstantními čísly. Ovšem protierozní opatření mohou být různá a s různou účinností. Smith v konstantě ponechal pouze vliv klimatu, půdy a vegetačního pokryvu.

$$G = C \cdot S^{7/5} \cdot L^{3/5} \cdot P$$

Vývoj výpočtů ztráty půdy způsobené erozí se odehrával především v USA a některé rovnice byly uzpůsobené konkrétním oblastem ve Spojených státech. Například Browning (1947) upravil Smithovu rovnici (1941) pro specifika státu Iowa tzv. Frevertova rovnice, a Smith spolu s Whitem o rok později uveřejnili specifickou rovnici pro stát Missouri (Janeček a kol., 2008). V roce 1946 začala pracovat výzkumná skupina pod vedením Musgrava v rámci Soil Conservation Service a výsledkem výzkumu byla tzv. rovnice Musgrava (Musgrave, 1947). Musgrave a kolektiv vyčlenil samostatně faktor erodovatelnosti půdy (K) a úhrn 30 minutového deště s periodicitou $p = 0,5$, v konstantním čísle (C) ponechal pouze účinky vegetačního krytu. Musgrave (1947) počítá roční ztrátu půdy v palcích, nikoliv v „evropské“ desetinné soustavě.

$$G = K \cdot C \cdot S^{1,35} \cdot L^{0,35} \cdot R_{30}^{1,75}$$

V českých zemích byla pro vyhodnocení erozní ohroženosti v souvislosti s ekonomickým vlivem protierozních opatření upravena Zdražilem (1965) Frevertova rovnice, která byla doplněna o vliv organického hnojení. Zdražil (1965) použil pro hodnotu průměrné ztráty půdy jednotky milimetrů za rok (X). Počítá se součiniteli geologického podkladu (G), druhu půdy (P), sklonu pozemku (S), nepřerušené délky

pozemku po svahu (D), hnojení (H), osevního postupu (O) a druhu protierozní ochrany (PO)¹.

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

V současnosti nejdokonalejší kvantitativní vyjádření účinků hlavních erozních faktorů na vznik vodní eroze způsobovanou převážně přívalovými dešti je univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí (Universal Soil Lost Equitation – dále jen „USLE“) Wischmaiera a Smithe z roku 1978. Tato rovnice byla v 90. letech minulého století revidována (Revised Universal Soil Lost Equitation – dále jen „RUSLE“). Aktualizace spočívala především ve změně způsobu stanovení jednotlivých erozních faktorů a zpřesnění jejich výpočtů. Rozdíl při výpočtu oběma metodami je především v náročnosti a množství vstupních dat. Pro účely této diplomové práce bude pracováno s rovnicí USLE. Wischmaier a Smith (1978) počítají průměrnou dlouhodobou ztrátu půdy v $t. ha^{-1}. rok^{-1}$ (G). Faktor erozní účinnosti deště (R) je vyjádřený četností, úhrnem, intenzitou a kinetickou energií deště. Erodatelnost půdy (K) sledují jako závislost obsahu organické hmoty a propustnosti na textuře a struktuře ornice. Délka svahu (L) a sklon svahu (S) je vymezená nepřerušenu délkou svahu, respektive sklonem svahu a jejich vlivem na velikost ztráty půdy. Ochranný vliv vegetačního pokryvu (C) sleduje množství ztráty půdy v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice. Posledním prvkem rovnice USLE je faktor účinnosti protierozních opatření (P).

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

Hodnota výsledku potom udává množství půdy, které může být uvolněno plošnou erozí z pozemku v dlouhodobém měřítku za daných podmínek. Rovnicí nezjistíme ukládané půdy a nelze ji používat na kratší období než 1 rok (Janeček a kol., 2008).

3.3. Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy

Wischmaier a Smith (1978) vychází při používání USLE z principu přípustné ztráty půdy na jednotkovém pozemku. Jeho parametry jsou definovány a odvozeny z rozměrů základních odtokových ploch o délce 22,13 m a sklonu 9 %, jejichž prvek je po každém přívalovém dešti mechanicky kypřen ve směru sklonu svahu jako úhor bez vegetace. Přípustná ztráta půdy je definována jako maximální velikost eroze půdy, která dovoluje dlouhodobě a ekonomicky dostupně udržovat dostatečnou úroveň úrodnosti půdy. Janeček a kol. (2012) stanovuje přípustné ztráty půdy z hlediska jejich dlouhodobého zachování funkcí a úrodností. Mělké půdy, do 30 cm, by neměly být využívány pro polní hospodaření a měly by být zatravněny nebo zalesněny. U

¹ Zdražil (1965) přizpůsobil proměnné českému prostředí. Proměnné jsou odvozeny od počátečních písmen českého názvosloví, proto se neshoduje v symbolech se svými předchůdci.

půd středně hlubokých a hlubokých (nad 30 cm) se doporučuje používat jednotnou přípustnou ztrátu půdy $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Hodnota pro středně hluboké půdy je takto stanovena jako přiměřená, u hlubokých půd se bere ohled na to, že se většinou jedná o nejhodnotnější půdy a proto by ztráta půdy také neměla překročit nastavenou hodnotu. V případě překročení přípustné hodnoty ztráty půdy je potřeba aplikovat na plochu účinnější protierozní opatření.

3.3.1. Faktor erozní účinnosti přívalového deště (R)

Dle Janečka a kol. (2012) je faktor erozní účinnosti přívalového deště odvozen na základě velkého množství dat o dešťových srážkách. Lze z nich usuzovat, že pokud jsou ostatní faktory použité v rovnici USLE konstantní, je ztráta půdy přímo úměrná součinu kinetické energie přívalového deště (E) a jeho maximální 30 minutové intenzity (i_{30}).

$$R = E \cdot i_{30} / 100$$

Více než 30-letá měření prokázala, že faktor účinnosti deště používaný k určení průměrné roční ztráty půdy musí zahrnovat vliv výjimečných srážkových událostí, tak středně intenzivní deště. V České republice byla původně průměrná hodnota faktoru $R = 20 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$, která byla určena na základě pozorování pouze tří stanic Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Ovšem tato hodnota byla po provedení důkladnějšího rozboru erozní účinnosti deště a měření na více stanicích ČHMÚ upravena. Vzhledem k velkým rozdílům ve faktoru R , velmi vysokému v horských oblastech a velmi nízkému ve srážkovém stínu na Žatecku, kdy ostatní území se pohybuje v přibližně stejných hodnotách, by podrobnější regionalizace byla neúčelná. Dle Janečka a kol. (2012) byla současná průměrná hodnota R faktoru stanovena na $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$.

3.3.2. Faktor erodovatelnosti půdy (K)

Faktor erodovatelnosti půdy je v USLE definovaný jako ztráta půdy ze standardního pozemku v $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ na jednotku faktoru erozní účinnosti deště. Lze jej stanovovat třemi způsoby (Janeček a kol., 2012).

Wischmaier a Smith (1978) odvodili samostatný matematický vztah pro výpočet K faktoru, u nějž je však potřeba mít k dispozici základní charakteristiky půdy, nejlépe přímo z výsledků rozborů vzorků odebraných přímo v terénu. Podmínkou pro použití tohoto způsobu zjištění K -faktoru je, že obsah prachu a práškového písku nepřekročí 70% množství vzorku. Součin vztahu počítá s procentuálním obsahem prachu, práškového písku a jílu, s procentuálním obsahem humusu ornice, se strukturou ornice a s třídami propustností půdních profilů.

Druhým způsobem, jak určit hodnotu K -faktoru je z nomogramu. Ten vychází z předchozího výpočtu. U hranic kategorií zrnitostí se používá navíc také hranice procenta písku.

Poslední možností jak přibližně určit K-faktor je podle bonitační soustavy půd (BPEJ). Ke správnému určení K-faktor je nutné znát hlavní půdní jednotku odvozenou z kódu BPEJ dle tabulky č. 1. Pokud pro některou hlavní půdní jednotku není stanoven faktor K, je nutné použít předchozí dva postupy. Tedy výpočet dle Wischmaiera a Smithe, nebo nomogram. Podobně lze určit hodnotu K-faktoru podle klasifikace půd.

Tabulka č. 1: Hodnoty K-faktoru dle BPEJ (Janeček a kol. 2012)

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	0,6	48	0,41
10	0,53	49	0,35
11	0,52	50	0,33
12	0,5	51	0,26
13	0,54	52	0,37
14	0,59	53	0,38
15	0,51	54	0,4
16	0,51	55	0,25
17	0,4	56	0,4
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	0,4
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

3.3.3. Faktor délky a sklonu svahu (L, S)

Samostatné vlivy sklonu a délky svahu na intenzitu eroze se většinou kombinují dohromady. Jedná se o součin těchto dvou faktorů a společně jsou nazývány topografickým faktorem ve specifických (reprezentativních) odtokových drahách. Ten představuje poměr ztrát půdy na jednotku plochy svahu, ke ztrátě půdy na standardním pozemku. Samotný faktor – L vyjadřuje vliv nepřerušené délky svahu a faktor – S symbolizuje vliv sklonu daného svahu. Nepřerušená délka svahu se měří od rozvodnice, případně od horní hrany pozemku, vždy se však bere ohled na přerušování svahu cestou, příkopem, hrázkou apod. Jako přerušování délky svahu se nepočítá se změnou technologie obdělávání, nebo změnou osevu (Janeček a kol., 2012). McCool a kol. (1987) však upozorňuje na nutnost použití specifického vztahu pro výpočet L-faktoru na extrémně krátkých svazích, jakými jsou například násypy a na tajících a zamokřených půdách. Způsobem dle McCoola a kol. (1987) je možné řešit specifika konkrétních pozemků. Janeček a kol. (2012) se však přiklání spíše k řešení rozličných svahů v komplexní morfologii území a doporučuje využívat geografické informační systémy (dále jen „GIS“) a digitální modely terénu (dále jen „DMT“).

Renard a kol. (1997) stanovuje hodnotu L-faktoru na základě Wischmeierovy a Smithovy rovnice s přístupem použitým v RUSLE.

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

Konstantní číslo vyjadřuje délku standardního pozemku v metrech, proměnná „l“ je horizontální projekcí délky svahu (nepřerušená délka svahu) a exponent „m“ značí náchylnost svahu k tvorbě rýžkové eroze. Exponent je doplňován podle tabulky č. 2.

Tabulka č. 2: Exponent sklonu svahu v závislosti na sklonu svahu a poměru rýžkové a plošné eroze (Renard a kol., 1997)

Sklon svahu (%)	Poměr mezi rýžkovou a plošnou erozí		
	Nízký	Střední	Vysoký
0,20	0,02	0,04	0,07
0,50	0,04	0,08	0,16
1,00	0,08	0,15	0,26
2,00	0,14	0,24	0,39
3,00	0,18	0,31	0,47
4,00	0,22	0,36	0,53
5,00	0,25	0,40	0,57
6,00	0,28	0,43	0,60
8,00	0,32	0,48	0,65
10,00	0,35	0,52	0,68
12,00	0,37	0,55	0,71
14,00	0,40	0,57	0,72
16,00	0,41	0,59	0,74
20,00	0,44	0,61	0,76
25,00	0,47	0,64	0,78
30,00	0,49	0,66	0,79
40,00	0,52	0,68	0,81
50,00	0,54	0,70	0,82
60,00	0,55	0,71	0,83

Nižší poměr rýžkové eroze k ploše se vyskytuje na pastvinách a ulehých půdách s vegetačním pokryvem, středním poměrem se vyznačují pozemky s širokořádkovými plodinami, nebo půdy s řídkým porostem. Vysoký poměr se vyskytuje spíše vzácně na nově vytvořených antropogenních půdách a na velmi výrazně zkypřených. V případech, kdy je sklon svahu větší než 15%, uvažuje se přednostně o vysokém poměru (Janeček a kol., 2012).

Renard (1997) konstatuje, že ztráta půdy se s vzrůstajícím sklonem zvyšuje rychleji, než je tomu u délky svahu. Hodnotu faktoru S pak určuje pomocí dvou matematických vztahů.

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

$$S = 16,8 \sin \theta - 0,50 \text{ pro sklon svahu } \geq 9\%$$

V obou případech θ vyjadřuje úhel sklonu svahu v jednotkách radiánů (případně m/m) a výpočet goniometrické funkce je nutné počítat v systému rad.

Janeček a kol. (2012) upozorňuje v případě proměnlivosti sklonu svahu půdního bloku, případně změně půdních vlastností, rozdělit svah na 10 stejně dlouhých úseků a faktor sklonu stanovit jako vážený průměr faktorů S pro dílčí úseky.

3.3.4. Faktor ochranného vlivu vegetace (C)

Vegetační pokryv je přímou ochranou povrchu půdy před destruktivním působením dešťových kapek a zpomaluje povrchový odtok. Ochranný vliv vegetace je přímo úměrný pokryvnosti a hustotě porostu. Svým způsobem jsou základní protierozní ochranou půdy porosty trav a jetelovin, naopak širokořádkové plodiny nemohou půdu dostatečně chránit (Janeček a kol., 2012). Wischmeier a Smith (1978) stanovují faktor ochranného vlivu vegetace pro danou strukturu pěstovaných plodin podle postupu jejich střídání na pozemcích, včetně období mezi střídáním plodin. Určují nástup a způsob agrotechnických prací do pěti období.

1. Podmítka a hrubá brázda
2. Příprava pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí nebo sázení
3. Doba druhého měsíce od jarního nebo letního setí nebo sázení, u ozimů do 30.4.
4. Od konce 3. období do sklizně
5. Strniště

Pokud se nepodaří zjistit přesnou strukturu pěstovaných plodin a jejich střídání, nebo se jedná o rozsáhlé území, lze rámcově určit C-faktor s využitím hodnot v Tabulce č. 3.

Tabulka č. 3: Průměrné hodnoty C faktoru pro jednotlivé plodiny (Janeček a kol., 2012)

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 olejnin	0,22
kukuřice na zrno	0,61	kukuřice na siláž	0,72
luštěniny	0,05	pícniny jednoleté	0,02
brambory rané	0,6	pícniny víceleté	0,01
brambory pozdní	0,44	zelenina	0,45
louky	0,005	sady	0,45

3.3.5. Faktor účinnosti protierozních opatření (P)

Wischmeier a Smith (1978) rozdělují pro potřeby USLE protierozní opatření na vrstevnicové obdělávání, ke kterému je vztažena délka svahu po spádnicí. Ke sklonu svahu je přiřazena maximální délka obdělávaného pozemku. Je uplatněna nepřímá

úměrnost, tedy čím větší sklon svahu, tím kratší maximální délka nepřerušeného pozemku. Druhým typem je pásové střídání plodin, které spočívá v prokládání pásů erozně stabilnějších vegetačních porostů. Třetím typem opatření je tzv. terasování. Tvorba terasovitých jevů na svazích s velkým sklonem. Janeček a kol. (2008) upravil Wischmeierovy a Smithovy (1978) tabulky pro jednotlivé typy protierozních opatření do jedné souhrnné tabulky (Tabulka č. 4). Pokud nejsou tato opatření uplatněna je počítáno s hodnotou faktoru $P = 1$.

Tabulka č. 4: Hodnoty faktoru protierozních opatření (Janeček a kol., 2008)

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

3.4. Využití GIS při výpočtech USLE

Dle Coppocka a Rhinda (1991) se geografické informační systémy (dále jen „GIS“) začaly vyvíjet na přelomu 50. a 60. let minulého století. Největší rozmach však přichází teprve na začátku 90. let. Významným milníkem pro současný GIS je založení Environmental Systems Research Institute (dále jen „ESRI“) Jackem Dungermondem v roce 1969. ESRI jako první dostalo GIS také do soukromé, komerční sféry. Rozvojem sofistikovaných nástrojů pro různé geografické analýzy, byla umožněna automatizace procesů výpočtů erozního smyvu.

Votrubec a Vlasák (2005) vnímají jako nevhodnější datovou strukturu pro výpočet erozní ohroženosti tzv. GRID. Volně přeloženo jako „mřížka“. Kde každý pixel (picture element) má přiřazenou hodnotu sledovaného jevu. Před samotným vytvořením podkladového GRIDu je potřeba znát jeho účel, především pro potřeby určení velikosti jednotlivého pixelu. Velikost buňky by měla být přizpůsobena nejméně podrobnému zdroji, tak aby výsledný výpočet byl co možná nejpřesnější.

Mezi základní podklady pro výpočet USLE řadí Votrubec s Vlasákem (2005) především digitální model terénu, BPEJ, letecké snímky a katastrální mapy. Pro porovnání historických dat je pak nejlépe využitelný podklad map stabilního katastru pro srovnání s aktuální katastrální mapou. Digitální model terénu je dobře využitelný pro vytvoření podkladových dat pro výpočet topografického faktoru (LS), tedy délky a sklonu svahu. BPEJ je vhodná pro rastrový podklad pro K-faktor, který lze přibližně odvodit od hlavní půdní jednotky (HPJ), tedy 2. a 3. čísla kódu BPEJ. Zároveň lze z 5. čísla kódu odvodit hloubku půdy a z ní určovat přípustnou ztrátu půdy z daného pozemku. Letecké snímky a stabilní katastr je dobře použitelný pro určení půdního pokryvu jednotlivých pozemků a tím určení faktoru-C. Místo leteckých snímků lze použít také vektorové vrstvy půdních bloků, které jsou dostupné v databázi LPIS.

Pro výpočet samostatného LS-faktoru je vyvinuto několik specializovaných programů. Mezi ně patří například program USLE 2D. Ten pracuje s daty ve formátu IDRISI jehož podkladem jsou výškopisná data. Ve výše zmíněném softwaru se faktor počítá zvlášť pro každý element vytvořeného výškového GRID. Délka odtokové dráhy je nahrazena plochou zdrojového pixelu. Pro převod dat mezi formáty IDRISI a ESRI se používá program LS converter, který převádí data IDRISI do textového formátu, který lze následně použít v GIS (Uhrová, 2008). Pelton a kol. (2014) využívají pro výpočet LS faktoru výhradně nástroje programu ArcGIS for Desktop a jeho nadstavby, konkrétně Spatial Analyst, 3D Analyst a Map Algebra.

Pro výpočet výsledného smyvu pomocí rovnice USLE se vytvořené základní GRIDy dosadí do rovnice a pomocí nástrojů GIS umožňující výpočty pro jednotlivé buňky rastru (Raster Calculator) se vypočítá průměrná dlouhodobá ztráta půdy.

3.5. Protierozní opatření

Zemědělskou půdu, především na svažitých pozemcích, je potřeba chránit proti vodní erozi. Tato preventivní opatření jsou většinou komplexem organizačních, agrotechnických a technických zásahů do struktury, rozložení a funkce orné půdy (Janeček a kol., 2008). Hlavní účely protierozních opatření vyplývají z faktorů rovnice USLE a snížení jejich účinků. Chrání půdu před účinky dopadajících kapek deště, podporuje vsak vody do půdy, zlepšuje její soudržnost, omezují unášecí sílu vody a soustředěného povrchového odtoku a neškodně odvádějí povrchově odtékající vodu a zachycují smytou zeminu (Janeček a kol., 2008).

Návrhy protierozních opatření vychází z průzkumu, kterým se získávají podklady pro posouzení hydrologických poměrů a stanovení erozní ohroženosti řešeného území (Janeček a kol., 2008), která je jedním z cílů této diplomové práce. Janeček a kol. (2008) doporučuje k optimalizaci návrhů protierozní ochrany využít variantního řešení a etapové realizace. Postup při návrhu ochrany půdy před vodní erozí tvoří především vyhodnocení erozní ohroženosti území, návrh protierozních opatření a posouzení návrhu opatření z hlediska jejich účinnosti.

3.5.1 Protierozní opatření organizačního charakteru

Protierozní ochrana prostřednictvím organizačních opatření spočívá především situováním delších stran pozemků po vrstevnicích, zvolení vhodné velikosti a tvaru pozemku a vymezení parcel vhodných ke změně druhu pozemku. Tato opatření předpokládají dobrou spolupráci hospodařících subjektů spolu se součinností s ostatními typy opatření. Zásady pro ochranu organizačními opatření vycházejí ze znalosti příčin vzniku vodní eroze (Janeček a kol., 2012).

Při výběru opatření je potřeba dodržovat obecné protierozní zásady, jako je například včasný termín výsevu, výsev víceletých píceň do krycí plodiny, posun podmítky do období s nižším výskytem přívalových dešťů, zařazování bezorebně setých meziplodin a rozmístění plodin podle ohroženosti pozemku. Významnou roli má také vegetační pokryv, který chrání půdu před účinkem deště, podporuje jeho vsak a zvyšuje soudržnost půdy, která se tak stává odolnější vůči účinkům stékající vody (Janeček a kol., 2012).

Tvar a velikost pozemků je v řadě případů kompromisem mezi faktory přírodními, které působí k vytváření spíše menších půdních celků, a ekonomickými, které naopak působí na vytváření dostatečně velkých bloků půdy. Obecně je možné doporučit vytváření půdních bloků do velikosti 50 ha na rovinných územích a v členitějším území maximálně 20 ha (Janeček a kol., 2008).

Janeček a kol. (2008) chápe delimitaci druhů pozemků jako prostorovou a funkční optimalizaci pozemků sloužící k pěstování jednotlivých kultur. Představují členění v rámci organizace zemědělského půdního fondu na ornou půdu, zahrady, louky, pastviny, vinice, sady a chmelnice.

Ochranné zatravnění se používá především na pozemcích, které z hlediska ztrát půdy erozí nelze využívat jako ornou půdu (Janeček a kol., 2008). Potřeba ochrany půdy trvalými travními porosty je především podél břehů vodních toků a nádrží, v drahách soustředěného odtoku a v profilech průlehů a těles ochranných hrázek (Janeček a kol., 2012).

Mezi základní principy ochrany půdy patří pěstování plodin, které nedostatečně chrání půdu na spíše rovinných pozemcích. Při tradičním pěstování lze plodiny seřadit podle jejich protierozní účinnosti od nejvyšší v pořadí: travní porosty, jetel, vojtěška, obilnina ozimá, obilnina jarní, řepka ozimá, hrách, plodiny okopaninou (Janeček a kol., 2008). Na ohrožených půdách je vhodné nedostatečný ochranný účinek širokořádkových plodin zvýšit například použitím vrstevnicových pásů okopanin a víceletých píceň (Janeček a kol., 2012).

Pásovým střídáním plodin je možné omezit ztráty půdy tím, že se střídají plodiny chránící půdu s plodinami s nízkým protierozním účinkem. Šířka pásu je přitom závislá na sklonu a délce svahu, propustnosti půdy, její náchylnosti k erozi a na šířce

záběru strojů. Počet pásů závisí na délce nepřerušného svahu sledovaný faktorem P (Janeček a kol., 2008).

3.5.2 Protierozní opatření agrotechnického charakteru

Agrotechnická opatření se používají ke zlepšení vsakovacích schopností půdy, zvýšení protierozní odolnosti a k vytvoření ochrany jejího povrchu v období největšího výskytu přívalových srážek. Do této skupiny patří opatření, která navazují na organizační typy ochrany. Zejména to jsou půdoochranné technologie pěstování plodin (například vrstevnicové obdělávání), výsev do ochranné plodiny, hrázkování a mulčování. Pokryv půdy zbytkovou vegetací snižuje povrchový odtok a zachycuje kinetickou energii dopadajících kapek deště (Janeček a kol., 2012).

Janeček a kol. (2008) rozděluje pěstované plodiny podle stupně ochrany povrchu na tři základní skupiny:

- Plodiny s vysokým protierozním účinkem po celou dobu vegetačního období (travní porosty, jetelotrávy, jeteloviny)
- Plodiny s dobrou protierozní ochranou půdy po větší část vegetačního období (obiloviny, meziplodiny, luskoviny)
- Plodiny s nedostatečnou protierozní ochranou půdy po převážnou část vegetačního období (kukuřice, brambory, cukrová řepa)

Z tohoto rozdělení usuzuje Janeček a kol. (2012), že nejvíce podléhá erozi půda bez vegetačního pokryvu a základním principem obdělávání půdy by mělo být pěstování plodin s vysokým protierozním účinkem. Erozně ohrožená půda by neměla zůstat delší dobu bez pokryvu, především v období nejčastějšího výskytu přívalových dešťů. Hůla a kol. (2003) považují za velmi účinné protierozní opatření využívat v těchto technologiích místo orby spíše mělké kypření půdy, případně hlubší prokypření ornice bez obracení půdy. Toto je nazýváno tzv. Conservation Tillage, neboli ochranným obděláváním půdy. Jde ve své podstatě o slučování některých operací údržby a ochranu půdy rostlinnými zbytky.

3.5.3 Protierozní opatření technického charakteru

Technická protierozní opatření slouží především k vyrovnání terénních příčných nerovností a snížení podélného sklonu svažitéch pozemků, k ochraně pozemků před vodou vytékající z okolních porostů na zemědělskou půdu a k neškodnému odvedení této vody z povodí. Zároveň se používají v případech, kdy nelze využít organizační ani agrotechnická opatření (Janeček a kol., 2008). Optimálním návrhem prostorového rozmístění liniových záchytných prvků dochází ke snížení hodnoty faktoru délky svahu a jsou zároveň navrhovány tak, aby svou lokalizací usměrňovaly směr obdělávání pozemků a způsob hospodaření zemědělských subjektů (Janeček a kol., 2012). Tato technická opatření mohou, spolu s doprovodnou dřevinnou zelení, mít pro krajinu význam také estetický a ekologicky stabilizační jako významné součásti územního systému ekologické stability (Janeček a kol., 2008).

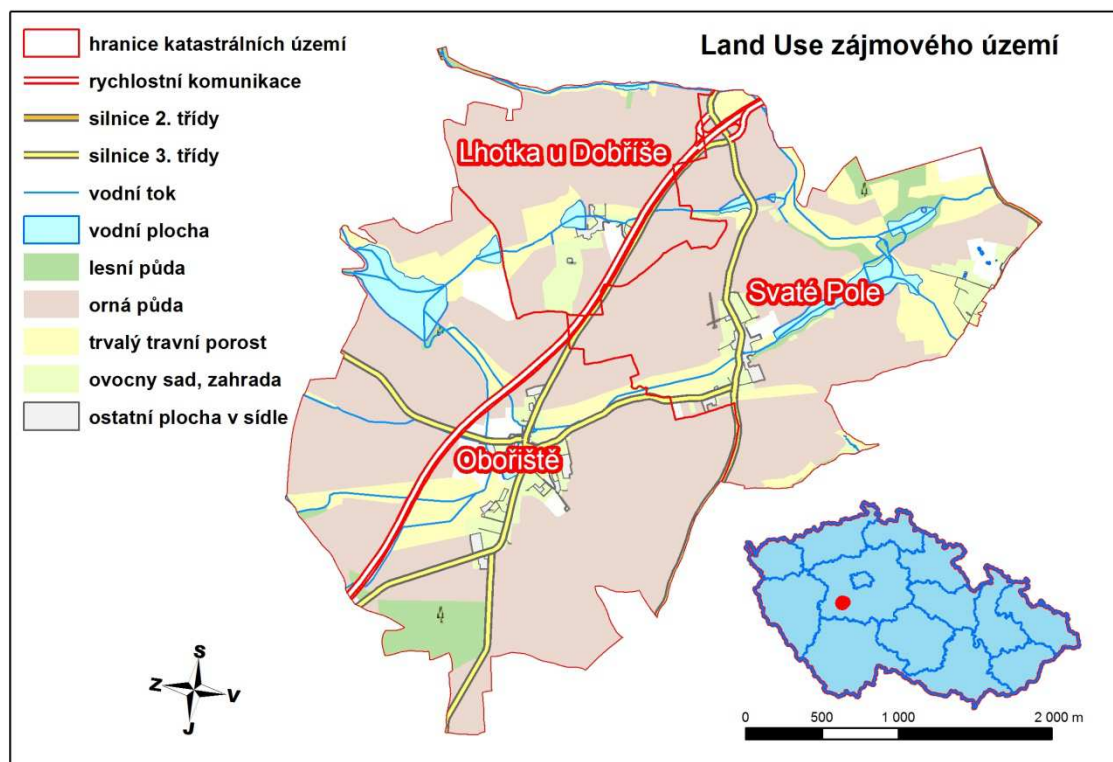
Janeček a kol. (2012) rozdělují technická protierozní opatření na **průlehy**, mělké a široké příkopy s mírným sklonem svahů, které se zakládají především v mírném podélném sklonu, kde se povrchově odtékající voda zachycuje a je dále neškodně odváděna mimo zemědělskou půdu. Podle funkce průlehu je rozdělují na záchytné, sběrné a svodné. Optimálním povrchem průlehu je zatravnění. Dalším opatřením jsou **protierozní příkopy**, které se navrhuje pro zachycení a bezpečné odvedení vody společně s polními cestami. De facto se jedná o hlubší průleh. Opačný systém ochrany půdy zabezpečují **protierozní hrázky a meze**. Ty se budují především ve směru vrstevnic a na úpatí svahů k ochraně objektů před přívalovými dešti a vystupují naopak od průlehu a příkopů nad terén. **Terasování**, jako další možnost technického opatření lze využívat především v území s výrazným sklonem a členitostí, kde by za stávajících podmínek nebylo možné obdělávání. Slouží ke zmenšení sklonu pozemků terénními stupni, rozdělení svahu na úseky tak, aby odtok nedosáhl erozního účinku. Terasy jsou však výrazným zásahem do krajiny a proto jsou realizovány jen v nejnútnejším rozsahu. Celková plocha teras se tvoří tak, aby optimálně vyhovovala jejich využití. Skládají se z terasových plošin a svahů. Posledním typem technických opatření jsou **protierozní nádrže**. Ty jsou navrhovány jako účinná opatření pro akumulaci, retenci, retardaci a infiltraci povrchového odtoku. Nejčastěji se navrhuje jako závěrečné prvky systému protierozní a protipovodňové ochrany nejčastěji v rámci společných zařízení pozemkových úprav.

4. Charakteristika studijního území

Studijní území se nachází v jihozápadní části Středočeského kraje ve správním obvodu ORP Dobříš, přibližně 40 km od centra Prahy. Jako modelové území byly vybrány obce Obořiště, se dvěma katastrálními územími (Obořiště a Lhotka u Dobříše), a Svaté Pole, které je samostatné katastrální území. Jedná se území intenzivně zemědělsky využívané s převahou orné půdy nad ostatními druhy pozemků, jak dokumentuje tabulka č. 5 a obrázek č. 1.

Tabulka č. 5: Výměra druhů pozemků ve sledovaných obcích zájmového území (autor z podkladů ČSÚ, 2014)

OBEC	Orná půda (ha)	Zahrady (ha)	TTP (ha)	Lesní půda (ha)	Vodní plochy (ha)	Zastavěné plochy (ha)	Ostatní plochy (ha)	Zemědělská půda (ha)	Celková výměra (ha)
Svaté Pole (2015)	246	13,1	59,7	9,9	26,2	9,1	31,1	318,9	395,2
podíl z rozlohy	62%	3%	15%	3%	7%	2%	8%	81%	100%
Obořiště (2015)	543	10,8	72,9	26,7	34,5	13,5	59,8	626,7	761,2
podíl z rozlohy	71%	1%	10%	4%	5%	2%	8%	82%	100%
Zájmové území (2015)	789	23,9	132,6	36,6	60,7	22,6	90,9	945,6	1156,4
podíl z rozlohy	68%	2%	11%	3%	5%	2%	8%	82%	100%



Obrázek č. 1: Land Use v zájmovém území (autor 2014), zdrojová data: ZABAGED, ArcČR 500

Chlupáč a kol. (2002) regionalizuje zájmové území jako z převážné části jako neoproterozoikum Českého masívu ve Štěchovické skupině složené převážně z břid-

lic, drobů a podřadných slepenců. Pouze v jižním výběžku obce Obořiště se nachází spodní kambrium senické skupiny tvořené z větší části pískovci a slepenci.

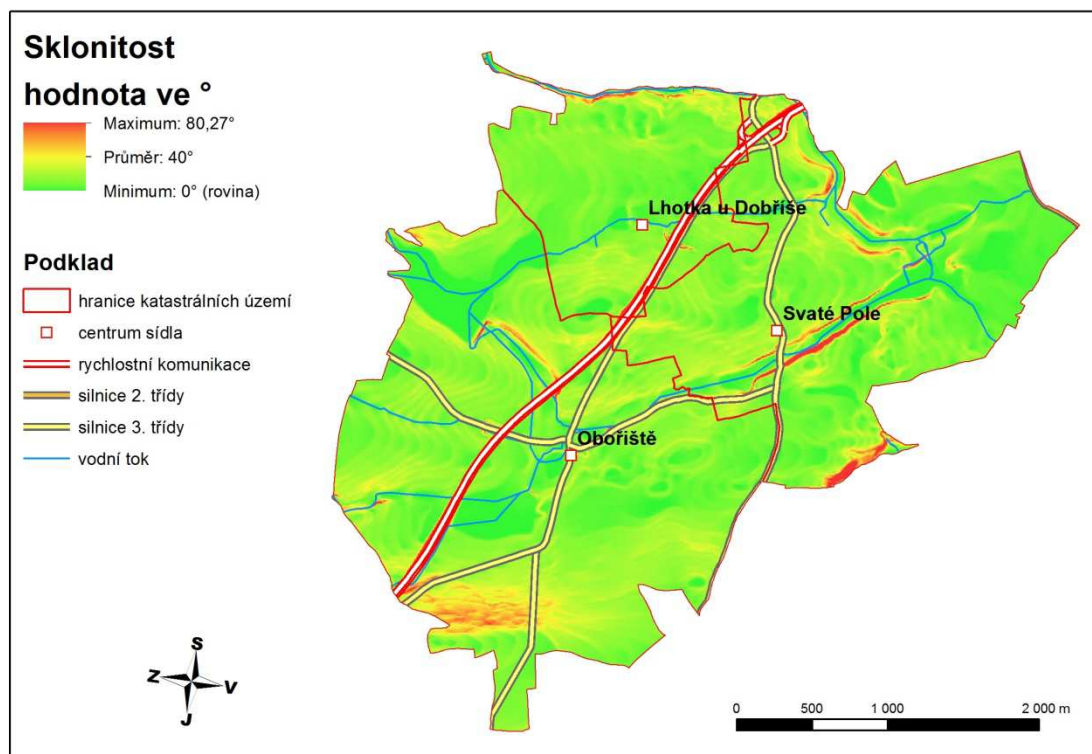
Z geomorfologického hlediska se celé zájmové území nachází v okrsku Štěchovické pahorkatiny, podcelku Dobříšské pahorkatiny, celku Benešovská pahorkatina, oblasti Středočeská pahorkatina, subprovincii Česko-moravská soustava, provincii Česká vysočina a v Hercynském systému (Demek a kol., 2006).

Obce Obořiště a Svaté Pole se vyznačují na rozdíl od okolního reliéfu spíše rovinatým terénem v oblasti pahorkatin. Nadmořská výška se pohybuje 350 do 450 m. n. m., což je patrné na obrázcích č. 2 a 3.



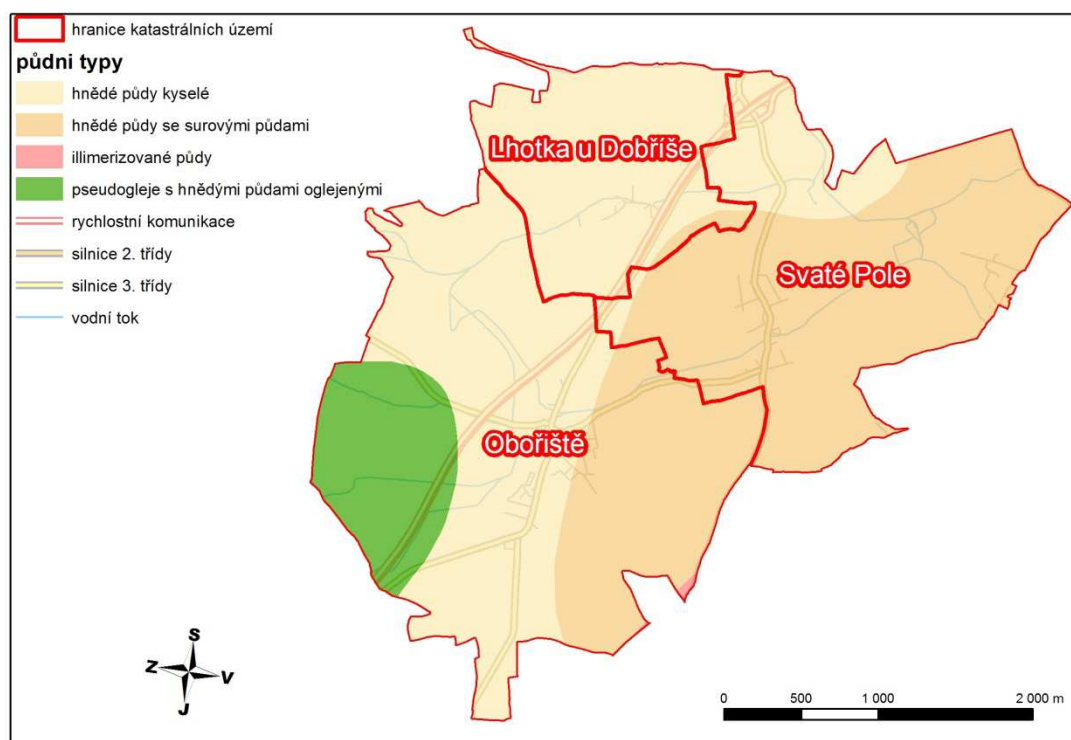
Obrázek č. 2: Základní mapa zájmového území (autor 2014), zdrojová data: ČÚZK, ZM 25 (online)

Na obrázku č. 2 je znatelné poměrně výrazné klesání od jihu k severovýchodu podél Sychrovského potoka tvořící osu vybrané lokality. Obrázek č. 3 dokumentuje naopak pozvolnost této výškové změny, kdy vysoké hodnoty sklonitosti terénu jsou převážně tvary vzniklé lidskou činností (například protihlukové valy u rychlostní komunikace) nebo strmé srázy okolo Sychrovského potoka.



Obrázek č. 3: Sklonitost v zájmovém území (ve °), (autor, 2014), zdrojová data: ZABAGED

Pro určení klimatického regionu zvolil autor Quittovu klasifikaci (1971) publikovanou v Atlasu podnebí Česka (2007). Quitt (1971) in Atlas podnebí Česka (2007) vymezuje území obcí Obořiště a Svaté Pole jako oblast mírně teplou (MT 7) až teplou (T 1) s průměrným ročním úhrnem dešťových srážek.



Obrázek č. 4: Půdní typy dle České geologické společnosti (autor 2014), zdrojová data WMS ČGS (2014)

Pro určení erozní ohroženosti je důležitá klasifikace půd. Dle podkladových dat České geologické společnosti (2014), publikovaných v rámci webové mapové služby (WMS) se v řešeném území nachází převážně hnědé půdy surové a kyselé, oglejené kambizemě na substrátu sedimentárních hornin, v jihozápadní části nalezneme modální pseudogleje na půdotvorném substrátu z polygenetických hlín a velice okrajově také illimerizované půdy, modální hnědozemě na polygenetických hlínách (Paleček, 2014), jak dokládá mapa půdních typů na Obrázku č. 4.

5. Metodika

Předmětem této kapitoly jsou metody použité při zpracování diplomové práce a popis logického postupu zpracování. Kapitola zároveň představuje použitá data a softwarových prostředků, podrobný popis použitých metod a nastavení parametrů užitých nástrojů.

Postup zpracování diplomové práce lze rozdělit na několik částí:

- 1) studium odborné literatury na téma erozní ohroženost území – podrobně rozepsáno v **kapitole 3**
- 2) vymezení modelového území a jeho charakteristika – popsáno v **kapitole 4**
- 3) zpracování zdrojových dat, nastavení postupů analýz v GIS, tvorba rastrových podkladů pro výsledné výpočty, klasifikace, vizualizace mapových výstupů.
- 4) interpretace výsledků vycházející z předešlých analýz – popsáno v **kapitole 6**

5.1 Data a softwarové prostředky

Výběr vstupních dat pro analýzy, je jedním z nejdůležitějších kroků pro zpracování diplomové práce a má zásadní vliv na výslednou kvalitu výstupů sledovaných jevů. Pro území České republiky existuje několik různých databází, které jsou odlišné svou dostupností, přesností i formátem uložení.

Pro zpracování diplomové práce byla vybrána data poskytovaná Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČÚZK) a Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy (VÚMOP) v rozsahu poskytování dat pro studentské účely a dále byla použita volně dostupná data databáze ArcČR 500 a data z databáze Lpis.

ČÚZK poskytl pro zpracování diplomové práce vektorová data ve formátu ESRI Shapefile základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) – polohopisné údaje, výškopisné údaje vrstevnic a bodovou síť GRID 10 x 10 m, dále poskytl rastrová data ve formátu JPG, Ortofoto ČR georeferencovaná v souřadnicovém systému S-JTSK a souřadnicově negeoreferencovaná rastrová data Císařských povinných otisků map stabilního katastru – Čechy. VÚMOP poskytl vektorová data ve formátu ESRI Shapefile, bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). Data byla poskytnuta na základě žádosti autora v nezbytném rozsahu sledovaného území. Volně dostupná data byla získána z internetových stránek firmy ARCDATA Praha s.r.o., zde se jednalo o administrativní členění z databáze ArcČR 500, která následně sloužila pro vymezení území. Posledním zdrojem geografických dat bylo Ministerstvo zemědělství, které na svém portálu poskytuje data pravidelně aktualizovaných půdních bloků zemědělského využití.

Stěžejními daty pro zpracování analýz a výsledného cíle diplomové práce byla data ČÚZK a VÚMOP. Ostatní data sloužila spíše jako podklady pro grafické výstupy práce.

Pro zpracování vstupních dat a následných výstupů z analýz, byl použitý software ArcGIS for Desktop, vyvinutý společností ESRI, který poskytuje kompletní řešení pro GIS. Program je dostupný ve třech úrovních (Basic, Standard, Advanced) a tím také v odlišných stupních funkcionality. Diplomová práce byla zpracována v ArcGIS for Desktop verze 10.2.1 s licenční úrovní Advanced (dále jen „ArcGIS“). Vyjma standardního používání základních nástrojů bylo klíčové využití nástrojů nastaveb programu 3D Analyst a Spatial Analyst.

5.2 Digitální model terénu

Sestrojením digitálního modelu terénu se rozumí nalezení nejvhodnější interpolační metody, která věrně zachycuje průběh modelovaného reliéfu (Voženílek a kol., 2001). Pro modelování reliéfu existuje několik jasně specifikovaných metod interpolace např. již zmiňovaný Voženílek a kol. (2001), nebo Hengl a Reuter (2009). Mezi nejpoužívanější metody, které jsou také součástí použitého softwaru ArcGIS (v. 10.2) patří (Childs, 2004):

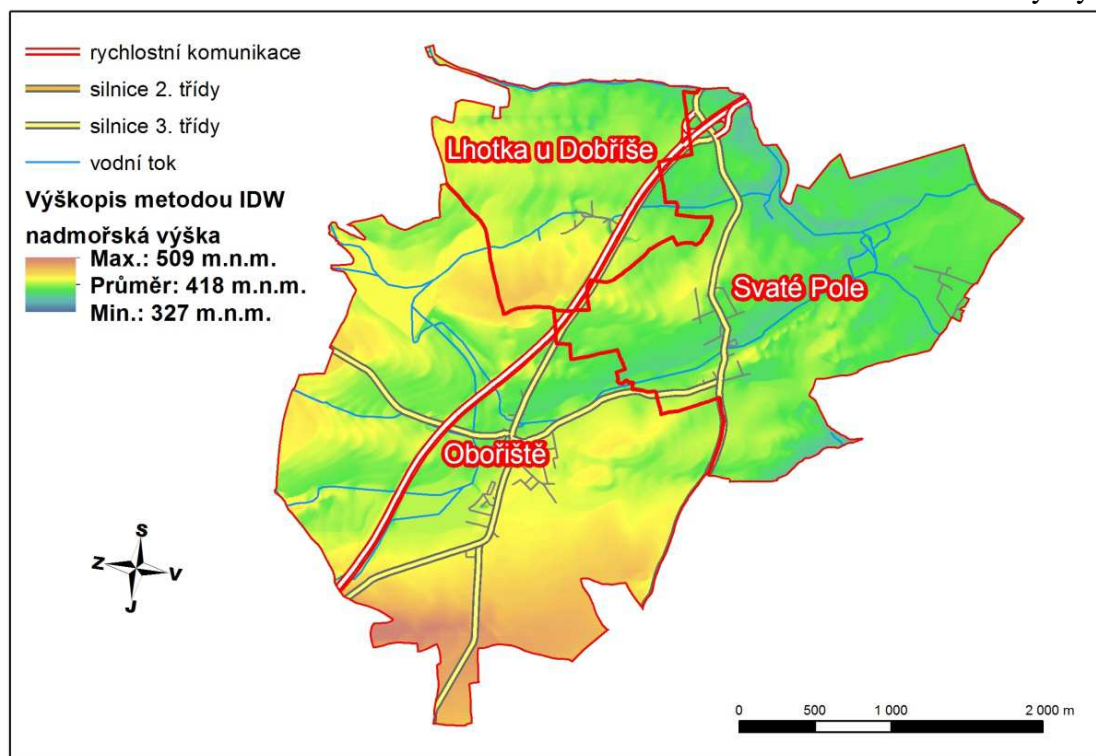
- *inverse distance weighting (IDW)* – metoda vážených inverzních vzdáleností. Nadmořská výška určovaného bodu je ovlivněna všemi zadanými výškami, ale jejich váha klesá se vzdáleností od interpolovaného bodu. Nejbližší hodnoty nejvíce ovlivňují výsledek interpolačního výpočtu.
- *spline (regularized spline, spline with pension)* – metoda využívající matematickou funkci, která minimalizuje zakřivení výsledného reliéfu
- *kriging (ordinary, universal)* – metoda vycházející ze zjištění nepravidelnosti geoprostorových prvků a nelze je interpolovat vyhlazovacími metodami.

Důležitým parametrem v interpolačních metodách je velikost buňky výsledného rastru. Podstata rastrové struktury vychází z pravidelné soustavy buněk, kde základní stavební jednotkou je buňka (Voženílek a kol., 2001). Každá buňka obsahuje různé hodnoty, v případě digitálního modelu terénu to je nadmořská výška vztažená ke středu buňky (Klimánek, 2006). Metrická přesnost rastru se odvíjí od velikosti buněk.

Vzhledem k relativně plochému reliéfu sledovaného území (viz. Obrázek č. 3) byla vybrána pro sestavení digitálního modelu terénu metoda IDW. Jako vstupní data posloužila bodová vrstva *výškopis_GRID* poskytnutá ČÚZK, která obsahuje odvozený digitální model terénu v podobě pravidelné mříže (10 x 10 m) trojrozměrně vedených bodů. Následnou aplikací nástroje IDW na zdrojovou vrstvu s nastavením velikosti buňky na hodnotu **5 m** vytvořil základní vrstvu digitálního modelu te-

rénu pro potřeby diplomové práce. S ohledem na Vlasáka a Votrubce (2005), kdy se jako nejméně přesný podklad pro výpočet erozního smyvu jeví BPEJ s velikostí základní buňky rastru právě **5 m**. Vzhledem k tomu, že IDW je metodou vyhlazovací, lze použít zpřesnění výpočtu digitálního modelu terénu ke zdrojovým datům (body výškového modelu 10 x 10 m).

Získáváme digitální model terénu v rastrové podobě pomocí interpolační metody IDW a tím základní rastrovou vrstvu (*vyskopis_IDW*) pro další analýzy v diplomové práci (Obrázek č. 5), kde každý jednotlivý pixel má přiřazenou hodnotu nadmořské výšky.



Obrázek č. 5: Digitální model terénu interpolační metodou IDW (autor 2014)

5.3 Faktory erozní ohroženosti

5.3.1 Faktor-R

Janeček a kol. (2012) určují faktor erozní účinnosti deště jako průměrnou hodnotu přívalového pro převažující část zemědělsky využívaného území České republiky a není účelné faktor erozní účinnosti deště regionalizovat. Pro účely výpočtů rovnice USLE se faktor R uvažuje jako konstantní hodnota **40 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹**.

Pro porovnání dat získaných ze stabilního katastru a současného využití území je vhodné zachovat stejnou hodnotu pro obě období. Je tedy potřeba vytvořit pouze jedinou rastrovou vrstvu faktoru R a to s hodnotou výše zmíněné konstanty.

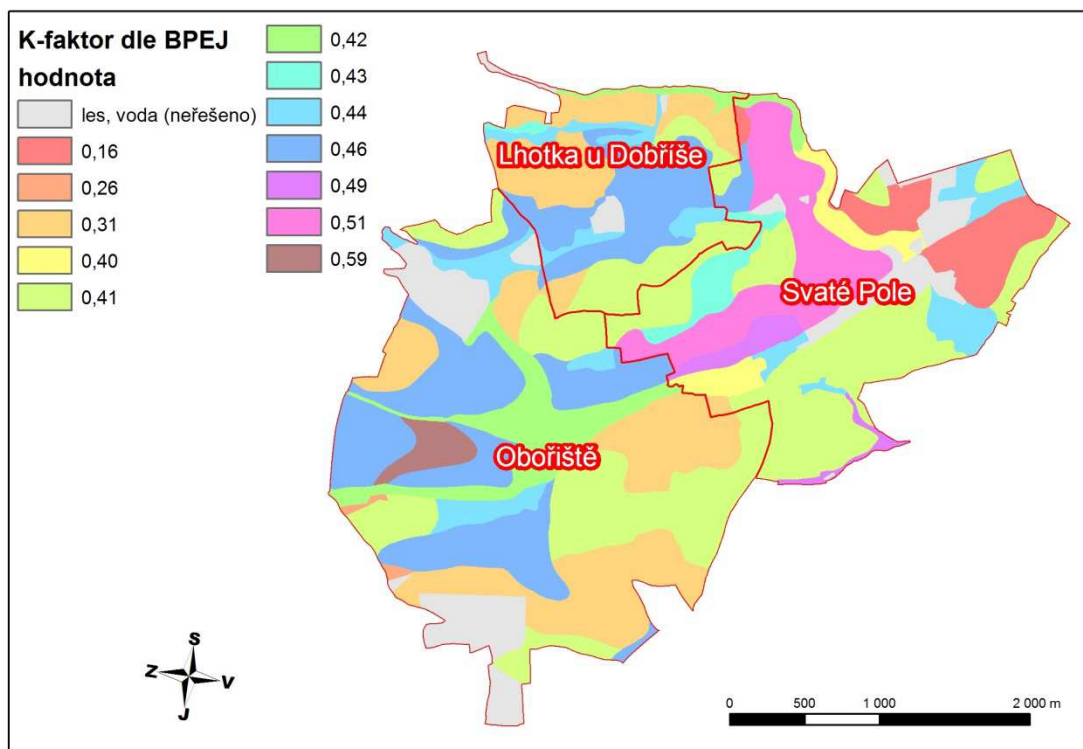
Zdrojovými daty pro rastr faktoru R byla vektorová, polygonová vrstva zájmového území opatřená atributem faktoru R o hodnotě 40. Na převod polygonové vrst-

vy do rastrové podoby byl použitý nástroj *Feature to Raster*, kde bylo nastaveno pole (*Field*) pro převzetí hodnoty atributu faktoru R a výstupní velikost buňky **5 m**. Po spuštění nástroje vzniká rastrový výstup *R-faktor* s konstantní hodnotou 40 pro celé zájmové území.

5.3.2 Faktor – K

Faktor erodovatelnosti půdy je v USLE definován jako ztráta půdy ze standardního pozemku vyjádřená v $t \cdot ha^{-1}$ na jednotku faktoru R. Faktor – K lze stanovit třemi způsoby (viz. Kapitola 3.3.2) (Janeček a kol., 2012). Pro účely této diplomové práce byl faktor odvozen z hlavních půdních jednotek dle BPEJ.

Pro porovnání historických a současných dat uvažujeme stejné složení BPEJ a proto byl vytvořen pouze jeden rastr pro faktor K a v obou případech bude počítáno se stejnými daty. Vzhledem ke stáří historických dostupných dat (z let 1826 – 1843) nebylo možné vytvořit relevantní data srovnatelná s dnešní charakteristikou BPEJ a hlavních půdních jednotek.



Obrázek č. 6: K-faktor odvozený z hlavních půdních jednotek BPEJ (autor, 2014)

Zdrojovými daty pro rastr faktoru-K byla polygonová, vektorová data BPEJ (VÚMOP, 2014). Tato data byla doplněna o atribut *faktor_K*, který byl odvozen dle hlavních půdních jednotek z kódu BPEJ a přiřazen podle Tabulky č. 1 (převzaté z Janečka a kol., 2012). K převodu zdrojové vrstvy na odpovídající rastr byl opět použitý nástroj *Feature to Raster*, kde bylo nastaveno pole pro převzetí faktoru-K z upravené polygonové vrstvy BPEJ a výstupní velikost buňky **5 m**. Po spuštění nástroje vzniká nový rastrový výstup *K_faktor* s hodnotou jednotlivých hlavních půd-

ních jednotek pro každý pixel zájmového území (Obrázek č. 6). Pro lesní půdy a vodní plochy byla určena hodnota K-faktoru 0.

5.3.3 Faktor - LS

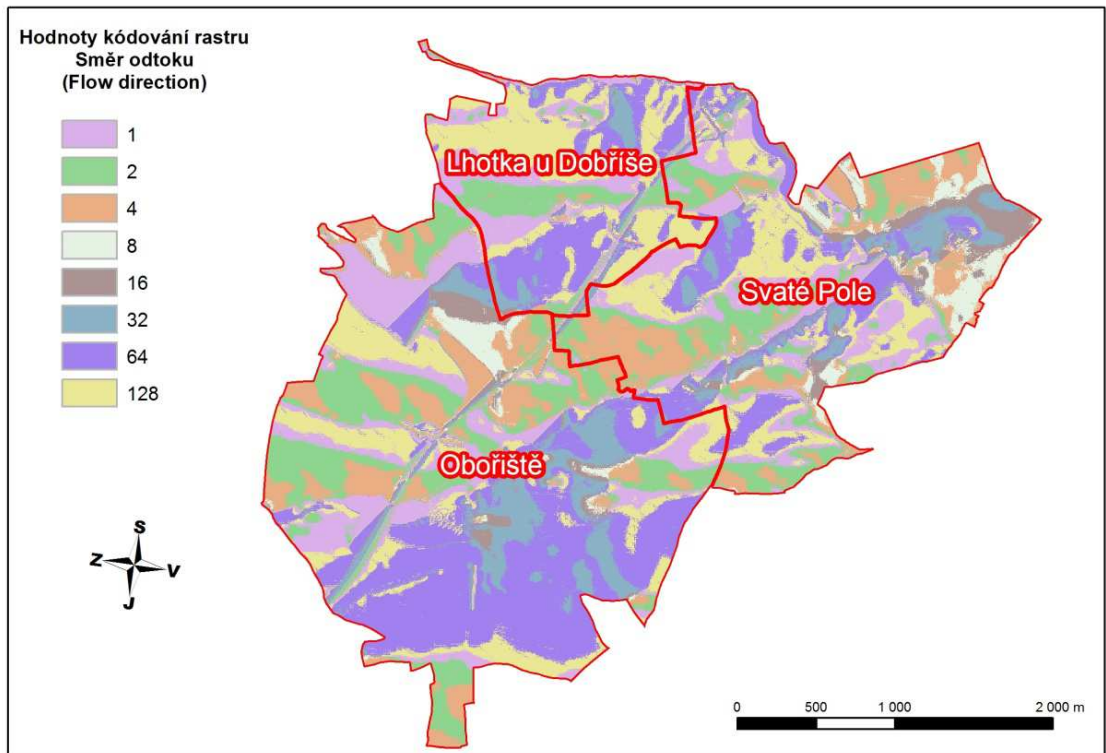
Janeček a kol. (2012) vyjadřují faktor sklonu (S) a délky (L) svahu kombinovaným faktorem LS, tzv. topografickým faktorem v charakteristických odtokových drahách na daném pozemku, který představuje poměr ztrát půdy na jednotku plochy svahu, ke ztrátě půdy na standardním pozemku o délce 22,13 m a sklonu 9 %.

Pro účely této diplomové práce byly pro výpočet topografického faktoru použity nástroje nadstavby ArcGIS, především Spatial Analyst a jeho podskupina Hydrology. Z hlediska zpracování se jedná o nejsložitější GIS analýzu, kdy je potřeba kombinovat několik nástrojů a postupů pro získání výsledného rastrového výstupu, který by znázorňoval topografický faktor.

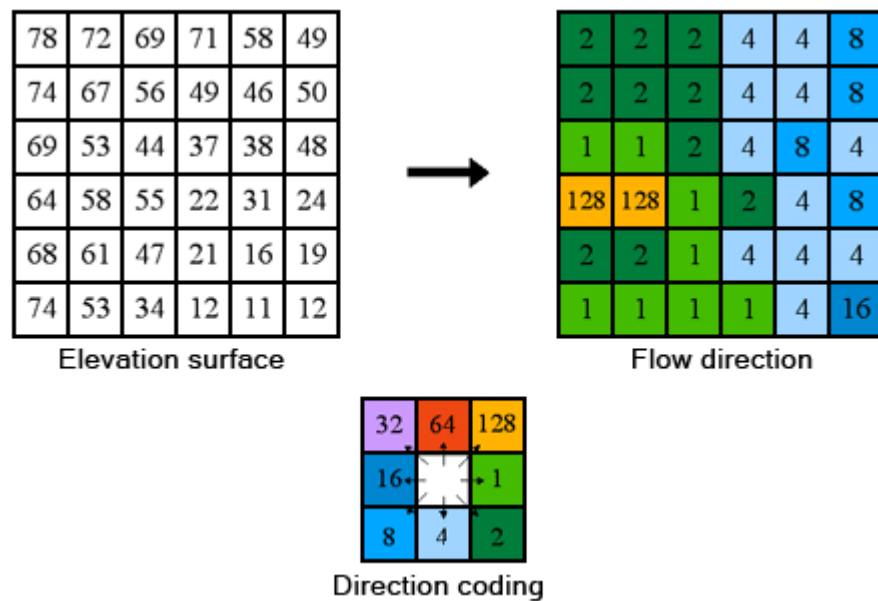
V rámci diplomové práce předpokládáme shodné geomorfologické a výškopisné podmínky v obou srovnávaných obdobích.

Nejprve je potřeba upravit digitální model terénu (DMT) tak, abychom neměli v zájmovém území prázdná místa (místa bez dat). V našem případě se jedná pouze o kontrolu již vytvořeného DMT, jelikož interpolace metodou IDW by měla být pro dané území komplexní. Tuto úpravu provedeme tak, že použijeme nástroj *Fill*, kde vstupním rastrem bude již vytvořený výškopis metodou IDW, výstupní rastr jsme pojmenovali *vyskopis_Fill*.

Dalším krokem vytvoříme rastrovou vrstvu směrů odtoku vody z každého jednotlivého pixelu zájmového území. Pro vytvoření takového rastru použijeme nástroj *Flow Direction*. V parametrech nástroje nastavíme jako vstupní rastr *vyskopis_Fill* z předešlého kroku. Výstupní rastr jsme nazvali *směr_odtoku*. (Obrázek č. 7). Kódování systému symbologie výstupního rastru je názorně uvedeno na Obrázku č. 8. Pokud hodnoty okolních buněk jsou nižší než hodnota zdrojové buňky, znamená to, že směr odtoku je do této zdrojové buňky. Buňky, které jsou svodové lze zjistit nástrojem *Sink* (ESRI, 2014).

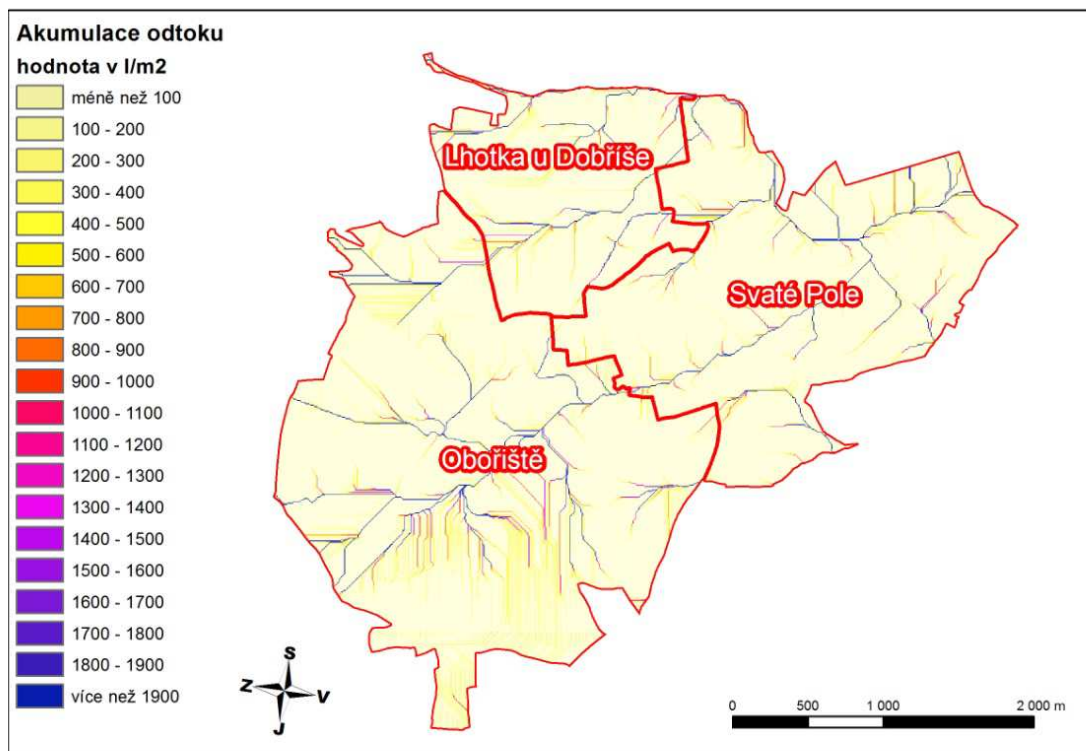


Obrázek č. 7: výstup analýzy směr odtoku - flow direction (autor, 2014)



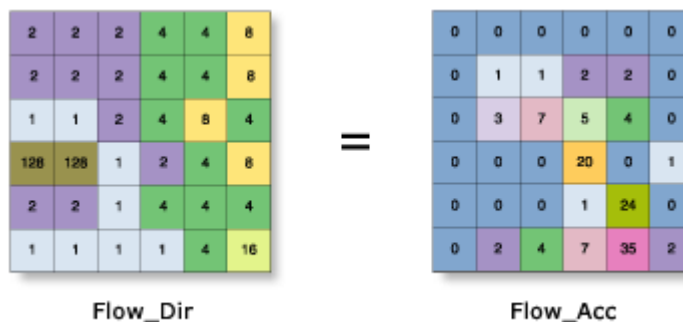
Obrázek č. 8: kódování směru odtoku při použití nástroje Flow Direction (ArcGIS Desktop Help, 2014)

Dalším krokem pro výpočet topografického faktoru jsou lokality akumulace odtoku. Místa s hromaděním odtoku zjistíme použitím nástroje *Flow Accumulation*. Jako vstupní rastr nastavíme výstup předchozího kroku, *směr_odtoku*. Výsledný rastr maximální a minimální hodnoty hromadění odtokové vody pro každou buňku rastru pojmenujeme *akumulace_odtoku* (Obrázek č. 9).



Obrázek č. 9: Místa s výskytem akumulace odtokové vody, maxima se vyskytují podél vodních toků (autor, 2014)

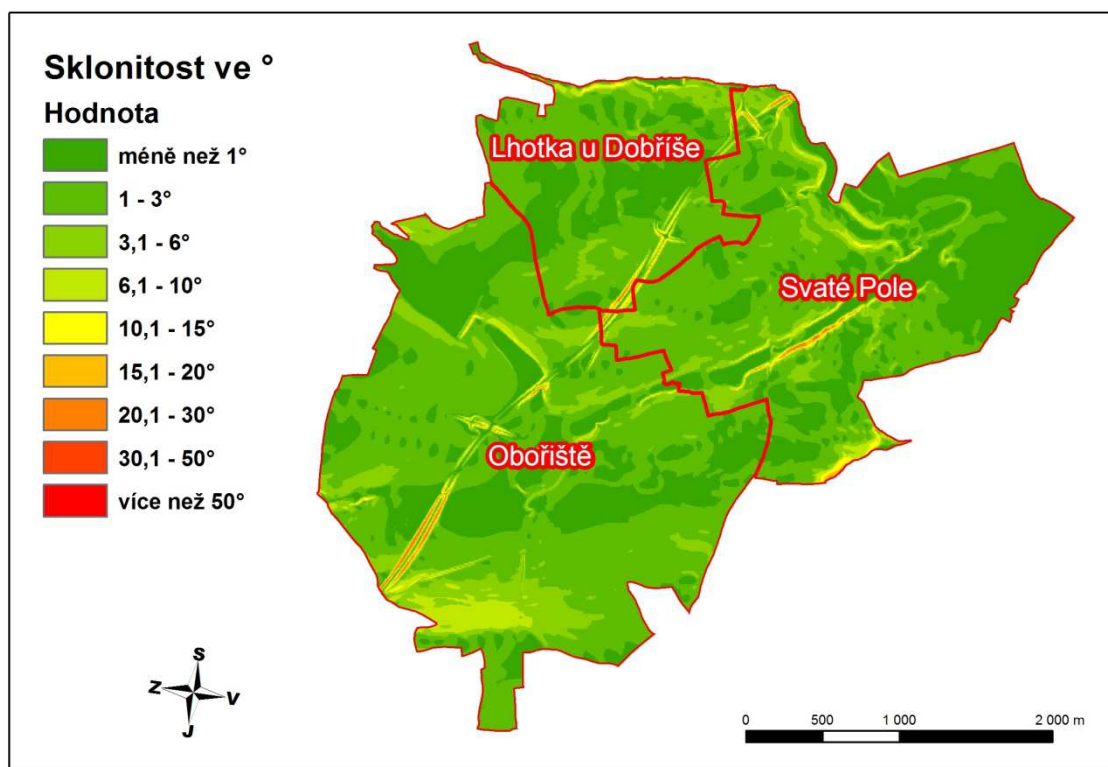
Obrázek č. 10 znázorňuje uspořádání a kódování výsledného rastru při použití vstupních dat směrů odtoku. Čím vyšší je hodnota buňky, tím akumuluje více okolních buněk.



Obrázek č. 10: kódování a symbologie výsledného rastru akumulace odtoku (ArcGIS for desktop Help, 2014)

Třetí, poslední dílčí akce při zjišťování topografického faktoru je výpočet svažitosti ve stupních. Pro tento krok využijeme nástroj *Slope* z nástrojového balíčku *Surface* ze skupiny nástrojů *Spatial Analyst tools*. Jako vstupní data použijeme již vytvořený digitální model terénu *vyskopis_Fill*. Nastavíme výstupní soubor, který nazveme *sklonitost* a jednotky ponecháme ve stupních *Output measurement = DEGREE*. Nastavení *Z factor* slouží pro větší transparentnost výstupu, ovšem pro potřeby výpočtů je nutné ponechat jeho hodnotu *1*. Obrázek č. 11 dokumentuje poměrně mírnou sklonitost celého území. Výsledek si pojmenujeme *sklonitost_LS*. Extrémní hodnoty vznikají v místech umělých svahů v okolí rychlostní komunikace a na břě-

zích Sychrovského potoka. Z obrázku č. 11 je patrné, že extrémní hodnoty svažitosti se vyskytují na krátkých úsecích.

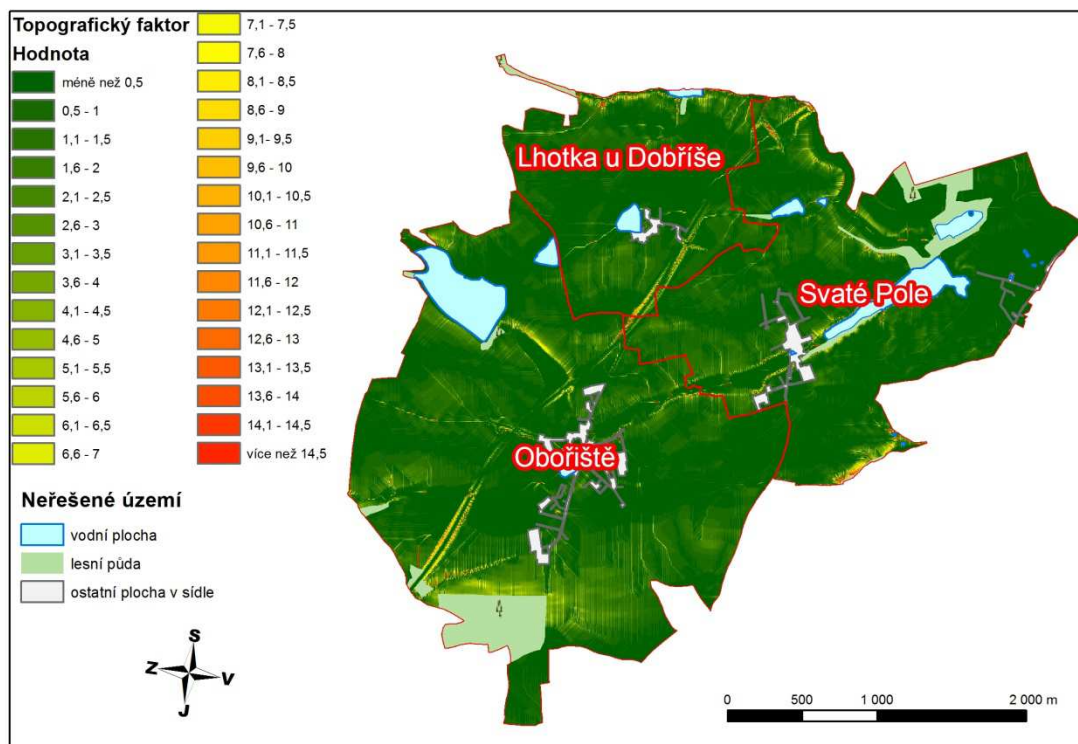


Obrázek č. 11: Sklonitost území pro účely výpočtu topografického faktoru (autor, 2014)

Nyní máme připravené všechny dílčí rastry pro vytvoření rastrového výstupu topografického faktoru. Pro jeho výpočet použijeme nástroj *Raster Calculator* v nástrojovém balíčku *Map Algebra*, kam vyplníme rovnici pro výpočet topografického faktoru (Pelton a kol., 2014 in Cooley (online)):

$$\text{Power}(\text{"flowacc"} * [\text{cellresolution}] / 22.1, 0.4) * \text{Power}(\text{Sin}(\text{"sloperasterdeg"} * 0.01745) / 0.09, 1.4) * 1.4$$

Do této rovnice dosadíme „flowacc“, což je vytvořený rastr akumulace odtoku „akumulace_odtoku“. Dále je potřeba vyplnit velikost výsledné buňky „[cellresolution]“, kam doplníme velikost buňky rastru digitálního modelu terénu **5 (m)**. Jako poslední je třeba nastavit rastr sklonitosti „sloperasterdeg“, který jsme vytvořili jako poslední „sklonitost_LS“. Výsledek výpočtu uložíme jako „faktor_LS“ (Obrázek č. 12), z něž je patrný spíše nízký faktor sklonitosti a délky svahu, extrémní hodnoty se vyskytují pouze v okolí silničních protihlukových valů a koryt protékajících vodotečí.



Obrázek č. 12: Rastrový výstup výpočtu LS-faktoru (autor, 2014)

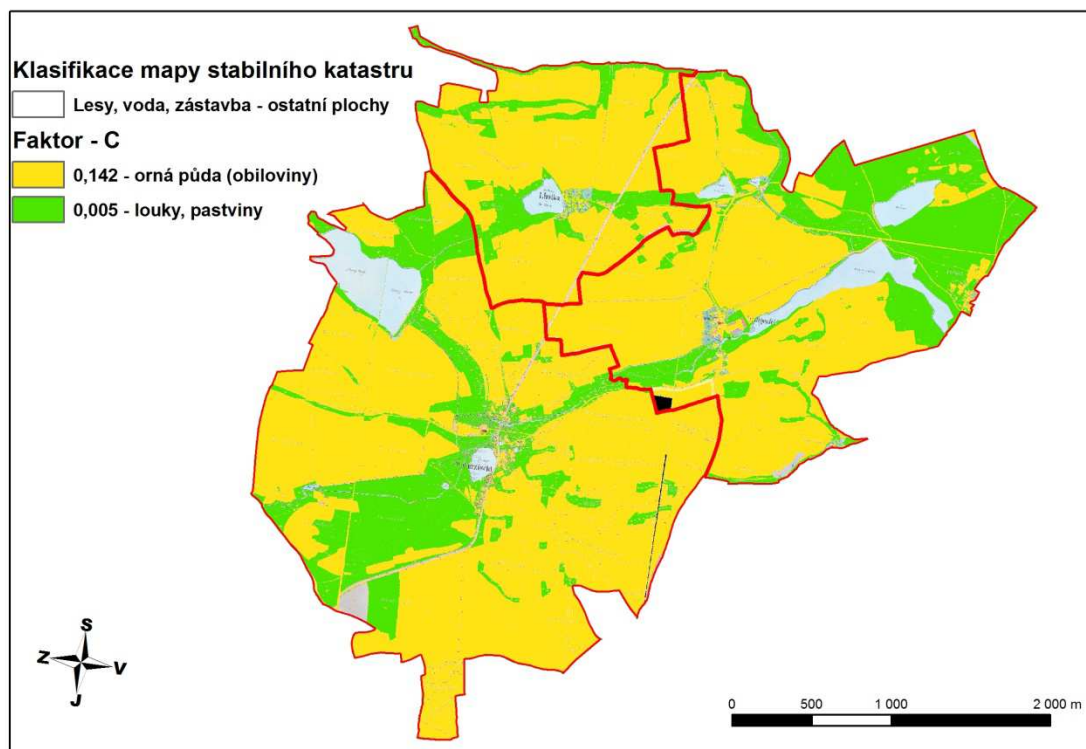
5.3.4 Faktor - C

Vliv vegetačního pokryvu na smyv půdy se projevuje přímou ochranou před destruktivním působením deště a zpomalování odtoku a nepřímo působí vegetace na půdní vlastnosti, jako je pórovitost a propustnost. Ochranný vliv vegetace je přímo úměrný pokryvnosti a hustotě porostu v době výskytu přívalových dešťů (Janeček a kol., 2012).

Pro účely cílů diplomové práce bylo, vzhledem k rozsáhlosti území, použito rámcového odhadu C-faktoru podle průměrného zastoupení plodin v dané lokalitě. Při odhadu hodnot pro údaje z doby stabilního katastru, bylo uvažováno s ideálním využitím jednotlivých pozemků, a to tak, že pro jednotlivé druhy pozemků byl přiřazen C-faktor nejúčinnější protierozní plodiny pro daný druh pozemku. Při zpracování dat současného využití byla využita vektorová vrstva půdních bloků získaná z databáze *LPIS* s úpravou podle současných leteckých snímků (ortofoto). Výsledná hodnota faktoru-C byla přiřazena dle Tabulky č. 3 na základě informací Zemědělského družstva Rosovice, které je většinovým uživatelem polností v zájmovém území.

Vstupními daty pro vyjádření faktoru-C pro situaci v době vzniku Stabilního katastru byly mapy povinných císařských otisků ve formátu JPEG poskytnuté ČÚZK. Nejprve je potřeba vytvořit z jednotlivých mapových listů mapovou mozaiku, nástrojem *Mosaic* připojíme všechny mapové listy k jednomu z již existujících, čímž nám vznikne jeden soubor, který je možné použít pro další analýzy. Pro přiřa-

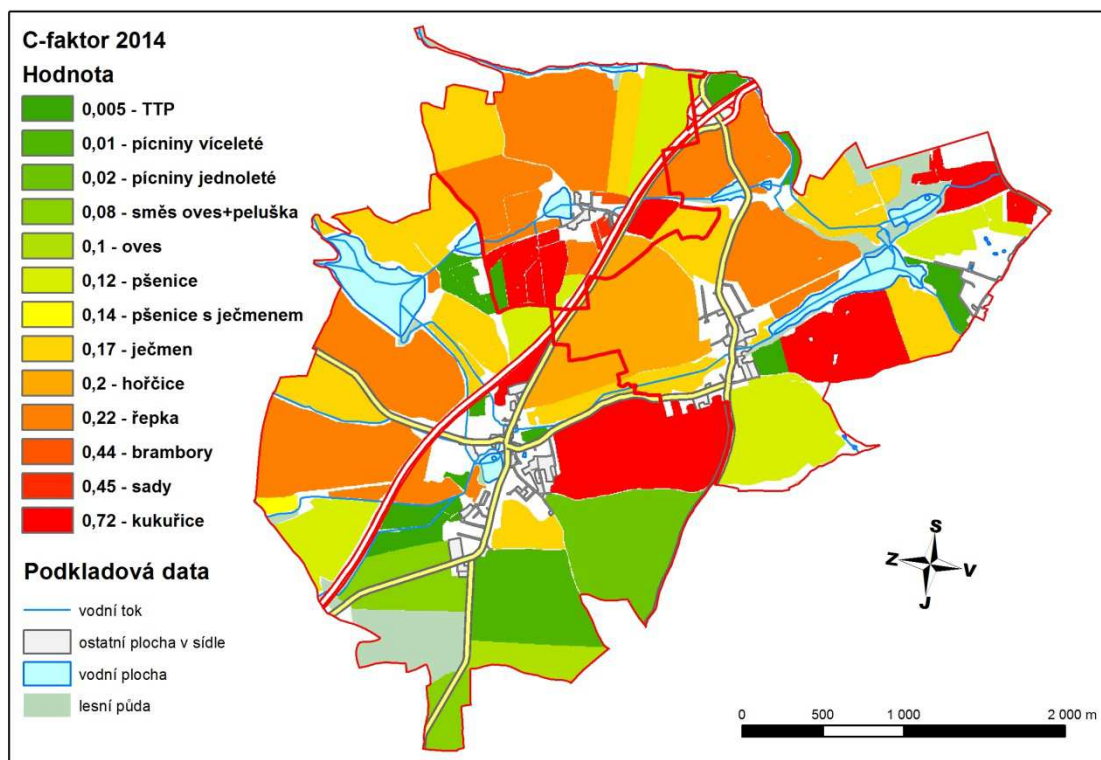
zení C-faktoru je třeba vstupní data klasifikovat, tedy přiřadit jednotlivým druhům pozemků konkrétní hodnotu pro každý pixel území. Pro klasifikaci rastru využijeme nástrojovou lištu *Image Classification* a vymezíme pro každý druh pozemku specifickou barevnou škálu, kterou aplikujeme na celé zájmové území. Pro identifikaci jednotlivých druhů pozemků byl použitý katalog objektů stabilního katastru (Vichrová, 2006) na Obrázku č. 13.



Obrázek č. 13: Klasifikovaná mapa Stabilního katastru podle využití pozemků s přiřazeným faktorem-C (autor, 2014)

U mapy faktoru – C předpokládáme ideální osev daného druhu pozemku. Hodnota faktoru – C pro ornou půdu byla vypočítána jako aritmetický průměr hodnot faktoru – C pro obiloviny v tabulce č. 3. Je pravděpodobné, že hospodáři v zájmovém území v polovině 19. století pěstovali především obiloviny. Nebylo potvrzeno, že pěstovanými plodinami byly také okopaniny, proto autor používá průměrnou hodnotu faktoru – C pro obiloviny.

Současná data o konkrétním osevu (pokryvu) byla získána od současných hospodářů ve sledovaném území a zpracována do upravené vrstvy půdních bloků, ze které byl následně vytvořen rastr faktoru – C pro současnost. Data s osevními postupy (2013 – 2015) byla poskytnuta dominantním hospodářem v zájmovém území, Zemědělským družstvem v Rosovicích. K převodu zdrojové vrstvy na odpovídající rastr byl opět použitý nástroj *Feature to Raster*, kde bylo nastaveno pole pro převzetí faktoru-C z upravené polygonové vrstvy půdních bloků a výstupní velikost buňky **5 m**. Po spuštění nástroje vzniká nový rastrový výstup „*C_faktor_2015*“ s hodnotou přiřazenou podle tabulky č. 3 a skutečného půdního pokryvu. (Obrázek č. 14).



Obrázek č. 14: C- faktor současného stavu využití pozemků (autor 2014)

5.3.5 Faktor – P

Wischmeier a Smith (1978) vytvořili tabulku hodnot účinnosti protierozních opatření, ovšem pokud nejsou na pozemcích uplatněna žádná protierozní opatření, počítá se s hodnotou faktoru – P = 1 (Tabulka č. 4).

V rámci diplomové práce uvažujeme, že naši předci v dobách stabilního katastru neznali protierozní opatření v dnešním smyslu, proto bude pro celé území vytvořen rastr faktoru – P pro historická data s hodnotou 1.

Využití protierozních opatření v dnešní době ve sledovaném území bylo zjištěováno od současných hospodářů terénním průzkumem. Během terénního průzkumu bylo zjištěno, že ve sledovaném území nejsou uplatňována žádná organizační protierozní opatření a proto je pro následnou analýzu použitý stejný vstupní rastr jako pro historická data, tedy s hodnotou P = 1.

K prověření účinnosti autorem navrhovaných protierozních opatření vytvoříme další rastrové výstupy faktoru – P tak, že do zdrojové vrstvy vektorizujeme návrh protierozních opatření a následně vytvoříme upravený výstup faktoru – P.

5.4 Průměrná dlouhodobá ztráta půdy, výpočet rovnice USLE

Pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy použijeme nástroj *Raster Calculator* z nástrojového balíčku *Map Algebra*. Do nástroje zadáme místo proměnných rovnice vytvořené rastry pro jednotlivé faktory a necháme program vytvořit nový rastr, který bude znázorňovat průměrnou dlouhodobou ztrátu půdy.

Bylo potřeba upravit náhled na klasifikovaný rastr stabilního katastru, převést hodnotu atributu *C_faktor* do atributu *Value*. To provedeme nástrojem *Lookup* ve skupině nástrojů *Reclass*. Jako vstupní rastr vybereme „*Klasifikace_stabilni_katastr*“ pole pro zobrazení zadáme *C_faktor* a výstupní rastr pojmenujeme jako „*C_faktor_SK*“.

Do okna rovnice výpočtu průměrné dlouhodobé ztráty půdy pro historická data zadáme následující formuli:

"R-faktor" * "K_faktor" * "Faktor_LS" * " C_faktor_SK" * " P_faktor"

Pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy v současnosti zadáme rovnici upravenou na rastry současného využití:

"R-faktor" * "K_faktor" * "Faktor_LS" * " C_faktor_2015" * " P_faktor"

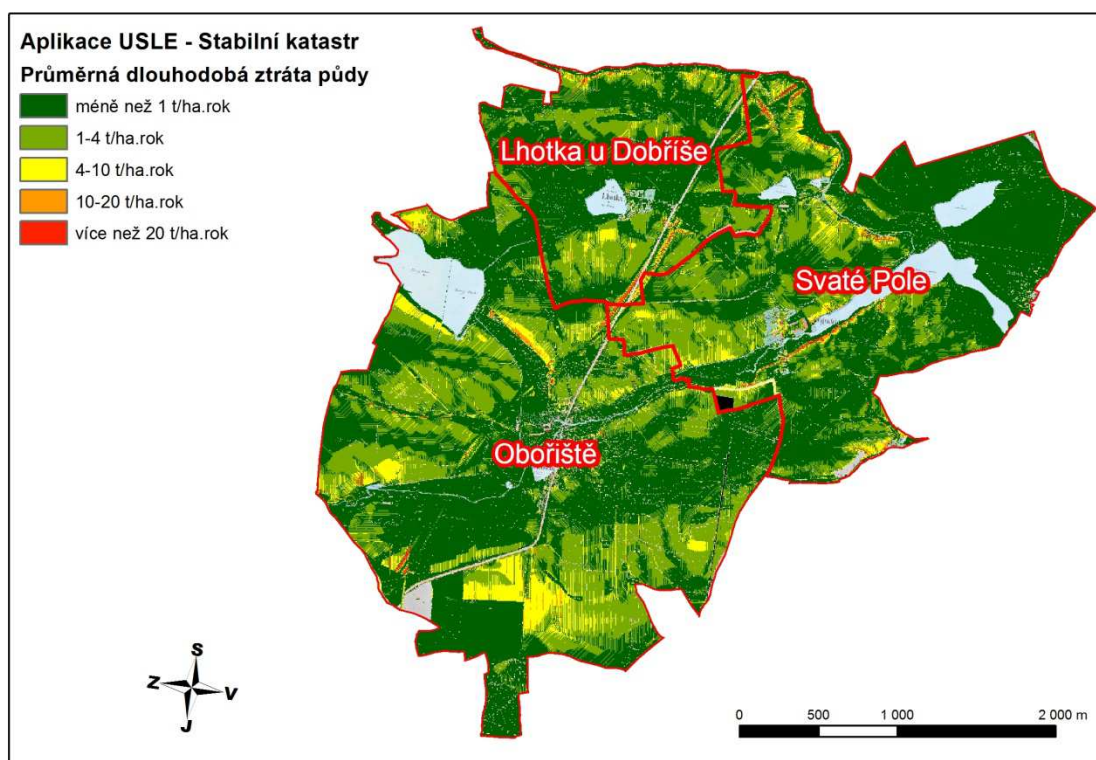
Tyto dva výstupy opatříme stejnou barevnou škálou, tak aby bylo jednoduché porovnat erozní ohroženost daného území v rámci obou období.

6. Výsledky práce

6.1 Výpočet USLE pomocí GIS

Základním výsledkem diplomové práce, od kterého se vyvíjí další interpretace, bylo sestavení rastrového výstupu výpočtu průměrné roční ztráty půdy vodní erozí pomocí metodiky USLE a nástrojů GIS. Jedním z cílů práce je porovnání erozní ohroženosti zájmového území ve dvou interpretačních obdobích. Autor vycházel z předpokladu, že se v rámci faktorů pro porovnání obou datových sad liší pouze rozdílně rozmístěný faktor vegetačního pokryvu. Pro interpretační škálu výsledků byla vybrána stupnice 1; 4; 10; 20 t. ha⁻¹. rok⁻¹, tak, že riziková průměrná hodnota ztráty půdy pro jednotlivé hloubky půdy v t. ha⁻¹. rok⁻¹ dle Janečka a kol. (2012) je interpretována relativně kontrastní barvou proti přípustné hodnotě.

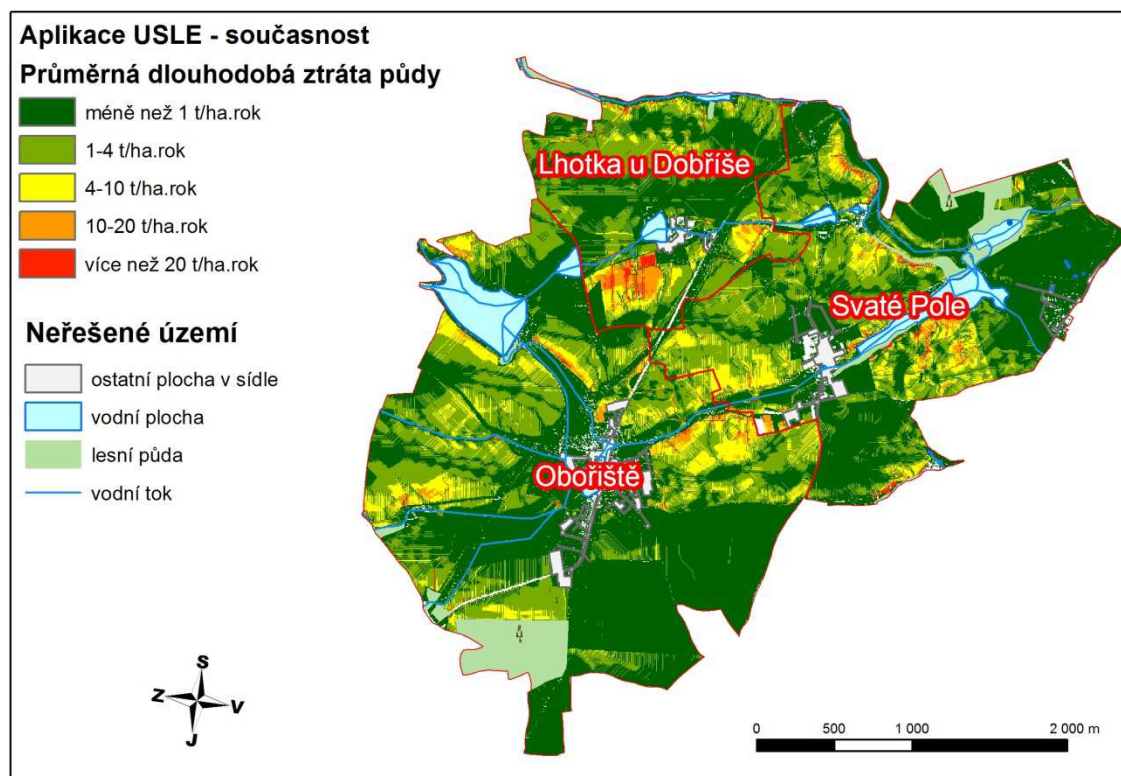
Po aplikaci metodiky byly vytvořeny dva rastrové výstupy erozní ohroženosti zájmového území (Obrázky č. 15 a č. 16).



Obrázek č. 15: Výsledný výpočet rovnice USLE při použití GIS pro období 1824-1843 (autor, 2014)

Na Obrázku č. 15, kde je interpretována erozní ohroženost území v době vzniku Stablního katastru, je zřetelně viditelná nízká náchylnost k vodní erozi. Většina zájmového území měla v 1. polovině 19. století hodnotu ztráty půdy pod dnešní přípustnou hodnotou 4 t. ha⁻¹. rok⁻¹ představované zelenou barvou a velmi málo ploch s vysokým ohrožením, které jsou zastoupeny červenými odstíny. Následný obrázek č. 16 zobrazuje výsledky erozní ohroženosti území pro využití pozemků v osevní sezóně 2014 – 2015. Zcela evidentně je zde vidět zhoršení erozní ohroženosti území.

Největší část zájmového území spadá do mírně ohrožených pozemků (světle zelený odstín). Tabulka č. 6 sumarizuje dosažené výsledky práce. Rozdíl v celkové rozloze zemědělských ploch je dán úbytkem těchto ploch v území ve prospěch zástavby a lesních ploch.



Obrázek č. 16: Výsledný výpočet rovnice USLE při použití GIS pro současné využití pozemků (autor 2014)

Tabulka č. 6: Porovnání ohroženosti zemědělské půdy vodní erozí (autor 2014), zdrojová data: Obrázky č. 15 a 16

		Ohroženost půdy 2014		Ohroženost půdy 1845	
		rozloha (ha)	podíl rozlohy (%)	rozloha (ha)	podíl rozlohy (%)
≤ 1 t/ha.rok	neohrožená půda	331,845	38,41%	514,9225	49,85%
$< 1 \leq 4$ t/ha.rok	mírně ohrožená půda	383,3375	44,37%	429,15	41,55%
$< 4 \leq 10$ t/ha.rok	ohrožená půda	114,6225	13,27%	76,135	7,37%
$< 10 \leq 20$ t/ha.rok	silně ohrožená půda	26,625	3,08%	9,52	0,92%
> 20 t/ha.rok	extrémně ohrožená půda	7,53	0,87%	3,1575	0,31%
plocha celkem		863,96	100,00%	1032,885	100,00%

6.2 Porovnání erozní ohroženosti sledovaných období

Vstupní data pro jednotlivá období byla odlišná pouze ve volbě plodin a následně při návrhu protierozních opatření aplikovaná v současné době. Každý činitel

výpočtu erozní ohroženosti pomocí rovnice USLE byl odvozen samostatně pro obě sledovaná období a to z dostupných podkladových dat.

Erozní účinnost přívalového deště je uvažována jako konstantní hodnota, kdy předpokládáme, že přívalový déšť měl stejnou účinnost v 19. století i v současnosti. Faktor erodovatelnosti půdy byl odvozen z kódu BPEJ z části hlavní půdní jednotky. Tyto hodnoty nebylo možné zajistit pro období vzniku stabilního katastru a tak se ve výpočtu použila data současná. V rámci zjišťování topografického faktoru byla porovnána data z digitálního modelu terénu současných dat a z map 3. Vojenského mapování, které jako první a dobově blízké stabilnímu katastru mapuje také reliéf. Srovnání těchto dvou datových sad bylo zjištěno, že reliéf ve sledovaném území byl výrazně podobný současnému a tak byl pro výpočet používán shodný rastrový výstup. Nejvýraznější rozdíl v jednotlivých faktorech se objevuje ve vegetačním pokryvu a to přesto, že využití území se příliš neliší a nejmarkantnější rozdíl je v ploše zástavby a trvalých travních porostů (viz. Tabulka č. 7). Pro období stabilního katastru byly použity dobové mapy a jejich vektorizace a byl pro výpočet nastaven ideální vegetační pokryv. Pro louky a pastviny byla přiřazena hodnota trvalého travního porostu a pro ornou půdu pěstování obilnin, tedy nejméně erozivní plodinou. Pro data současná byla využita konkrétní data současného obdělávání půdy. Poslední faktor účinnosti protierozních opatření byl pro základní data vyhodnocen jako konstanta vzhledem k tomu, že nebyla protierozní opatření aplikována ani v době stabilního katastru, ani v současnosti.

Tabulka č. 7: Porovnání Land Use ve sledovaných obdobích (autor 2015), podklady ČSÚ a výpočty v GIS

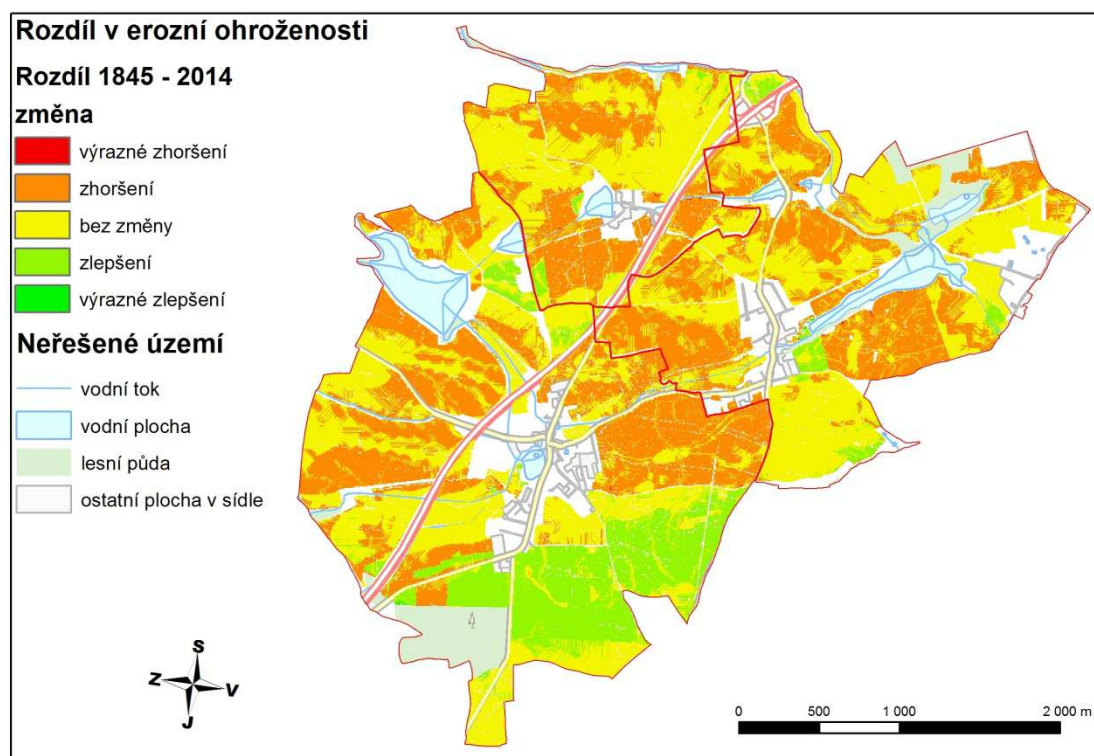
OBEC	Orná půda (ha)	Zahrady (ha)	TTP (ha)	Lesní půda (ha)	Vodní plochy (ha)	Zastavěné plochy (ha)	Ostatní plochy (ha)	Zemědělská půda (ha)	Celková výměra (ha)
Svaté Pole (2015)	246	13,1	59,7	9,9	26,2	9,1	31,1	318,9	395,2
podíl z rozlohy	62%	3%	15%	3%	7%	2%	8%	81%	100%
Svaté Pole (1845)	261,4	xxx	98,8	5,2	26,2	3,6	xxx	360,2	395,2
Podíl z rozlohy	66%	xxx	25%	1%	7%	1%	xxx	91%	100%
Obořiště (2015)	543	10,8	72,9	26,7	34,5	13,5	59,8	626,7	761,2
podíl z rozlohy	71%	1%	10%	4%	5%	2%	8%	82%	100%
Obořiště (1845)	532,3	xxx	173,3	4	31,8	5,3	xxx	705,6	766,1
Podíl z rozlohy	69%	xxx	23%	1%	4%	1%	xxx	92%	100%
Zájmové území (2015)	789	23,9	132,6	36,6	60,7	22,6	90,9	945,6	1156,4
podíl z rozlohy	68%	2%	11%	3%	5%	2%	8%	82%	100%
Zájmové území (1845)	793,7	xxx	272,1	9,2	58	8,9	xxx	1065,8	1161,3
Podíl z rozlohy	68%	xxx	23%	1%	5%	1%	xxx	92%	100%

Rozdíly ve výsledném rastrovém výstupu aplikace USLE z dat za obě období vznikají především v rozloze a složení pěstovaných plodin a případném rozprostření ploch orné půdy a trvalých travních porostů. To může být vyhodnoceno jako organizační protierozní opatření především v době stabilního katastru a tím jako „přiroze-

ná“ protierozní ochrana. Ostatní faktory výpočtu erozní ohroženosti neměly na výsledek vliv, jelikož se počítalo se shodnými hodnotami. Na obrázku č. 17 a v tabulce č. 8 je názorně vidět rozdíl v erozní ohroženosti obou sledovaných období na shodném území. Většina území je erozně ohroženější nebo stejně ohrožená v dnešní době se současným stylem obdělávání, než v dobách vzniku map Stabilmního katastru.

Tabulka č. 8: Změny v ohroženosti půdy vodní erozí, porovnání sledovaných období (autor 2015), zdrojová data: Obrázek č. 17

Změny v ohrožení půdy vodní erozí 1845 - 2014		
	rozloha v ha	podíl změny v %
<i>výrazné zhoršení</i>	0,3475	0,04%
<i>zhoršení</i>	319,9825	38,41%
<i>bez změny</i>	412,7775	49,55%
<i>zlepšení</i>	99,6	11,96%
<i>výrazné zlepšení</i>	0,2625	0,03%
<i>řešená plocha celkem</i>	832,97	100,00%



Obrázek č. 17: Porovnání erozní ohroženosti ve sledovaných obdobích (autor 2014), podkladová data ZABAGED

6.3 Návrh protierozních opatření

Vzhledem ke zjištěným výsledkům analýzy se autor pokusil navrhnout vhodná protierozní opatření na půdních blocích vykazujících vysoké hodnoty erozní ohroženosti. Autor si jako modelové lokality vybral nejvíce ohrožené půdní bloky v každém sledovaném katastrálním území.

Jako první návrh lze uvažovat variantu návratu způsobu hospodaření, především vegetačním pokryvem, do doby vzniku stabilního katastru. Historická analýza zřetelně ukazuje na jedné straně vhodnost pěstování obilnin a rozmístění travních porostů v první polovině 19. století a na druhé straně nevhodnost plodin pěstovaných v současnosti a minimalizace travních porostů na rozlehlých lánech orné půdy. Erozní ohroženost území by se tímto opatřením dokázala výrazně snížit. V současné době by se takové hospodaření dalo pojmenovat jako organizační protierozní opatření, kterým je zmenšení velikosti pozemku, v našem případě velikosti půdního bloku. (porovnání viz. Obrázky č. 13 a č. 14).

Další variantou by byl návrh nových protierozních opatření s přihlédnutím na zachování současného složení pěstovaných plodin. V souvislosti se zjištěnou poměrně nízkou sklonitostí území, ovšem s výraznou délkou obdělávaných bloků orné půdy po spádnicí by autor zvolil taková opatření, kterými by se zkrátila odtoková vzdálenost vody z pozemku, případně byl umožněn alespoň částečný vsak odtékající vody do pozemku a tím se snížila hodnota erozní ohroženosti. Janeček a kol. (2012) doporučují maximální velikost pozemku 50 ha v rovinatých územích.

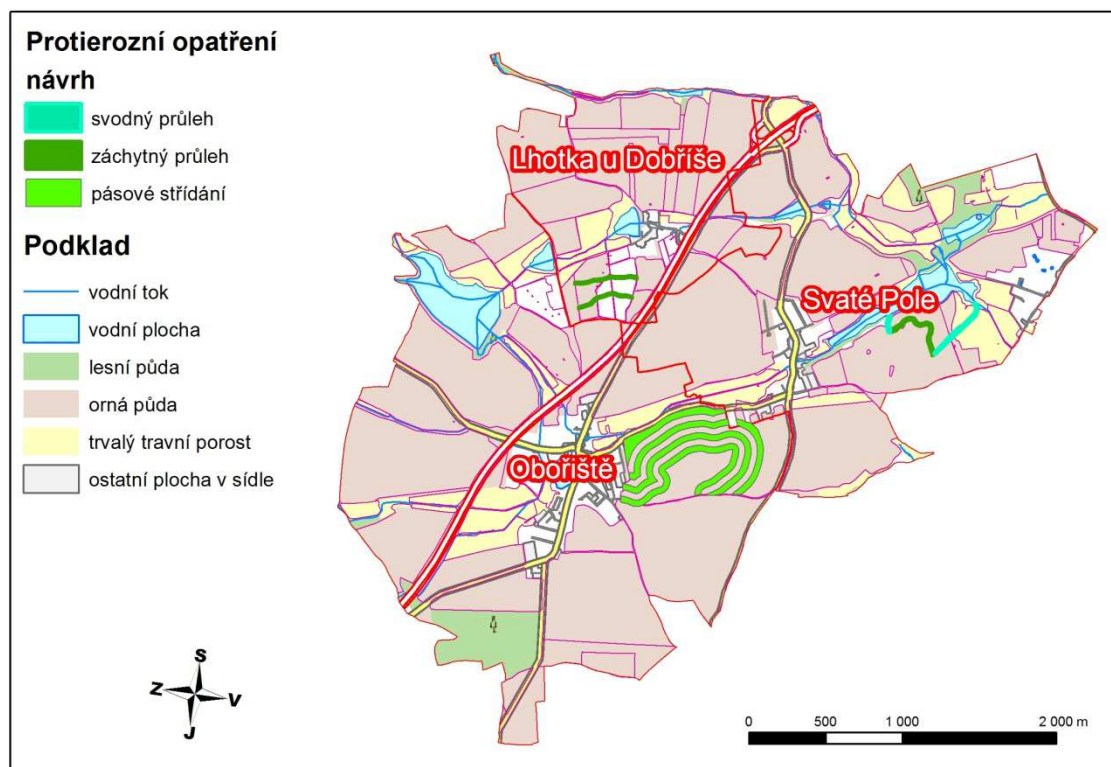
Autor pro zvýšení erozní odolnosti zájmového území využil především opatření organizačního charakteru v jednodušších formách a to vzhledem k poměrně malé sklonitosti celého území. Byly vytipovány 3 lokality v zájmovém území, které by bylo vhodné řešit protierozními opatřeními a to na základě nejvyšší hodnoty výsledné ztráty půdy. Nejedná se o konečný výčet ploch, které by bylo vhodné ošetřit protierozními opatřeními, ale pouze o specifické příklady lokalit ve sledovaném území.

V jižní části katastrálního území Lhotka u Dobříše byly navrženy záchytné zatravněné průlehy po vrstevnicích (šířky 10 m) s přerušením svahu po 70 metrech, odkud je přebytečná voda odváděna přirozenými postranními příkopy. Tento návrh se v dané lokalitě jeví jako nedostatečný, přestože ohroženost pozemku byla snížena. Hodnota dlouhodobé ztráty půdy stále převyšuje kritickou hodnotu 4 t/ha. rok. Jako další opatření by autor navrhoval především změnu sadby s vynecháním širokořádkových plodin, případně další zatravněný zasakovací pás na údolnici, podél přilehlé vodoteče.

Ve východní části katastrálního území Obořiště doporučuje autor uplatnit pásové střídání plodin po vrstevnicích (v šíři 40 m). Při zachování současné plodiny na půdním bloku, kterým je kukuřice na silo s vysokou hodnotou faktoru účinnosti vegetačního pokryvu (0,72) je vhodné půdní blok doplnit pásy travin, případně jetelovin a jejich směsek. Toto opatření má za následek výrazné snížení dlouhodobé ztráty půdy pod 4 t/ha. rok. Tímto opatřením by se, při zachování části pěstované kukuřice, dosáhla hodnota erozní odolnosti k době před rokem 1845 na velké části půdního bloku.

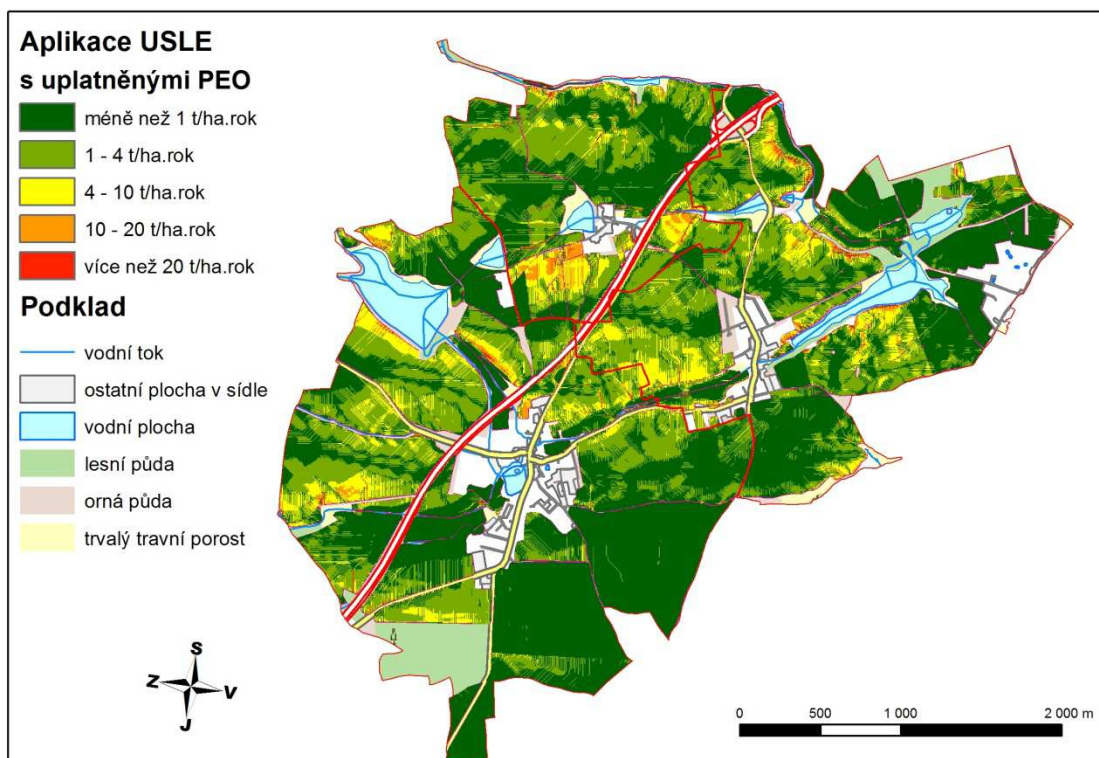
Vybraný půdní blok v katastrálním území Svaté Pole byl zvolen vzhledem k jeho výraznější členitosti a osazením širokořádkovými plodinami. Zde bylo, jako

účinné protierozní opatření, navrženo zbudování záchytného průlehu (šíře 10 m) a dva okrajové svodné průlehy v místech největší akumulace odtokové vody a její neškodné odvedení do přilehlého rybníka. Dlouhodobá ztráta půdy byla snížena na většinu půdního bloku pod hranici 4 t/ha. rok. Ovšem v porovnání s údaji z doby vzniku Stablního katastru je hodnota ztráty půdy stále vyšší.



Obrázek č. 18: Návrh protierozních opatření (autor 2014), podkladová data ZABAGED

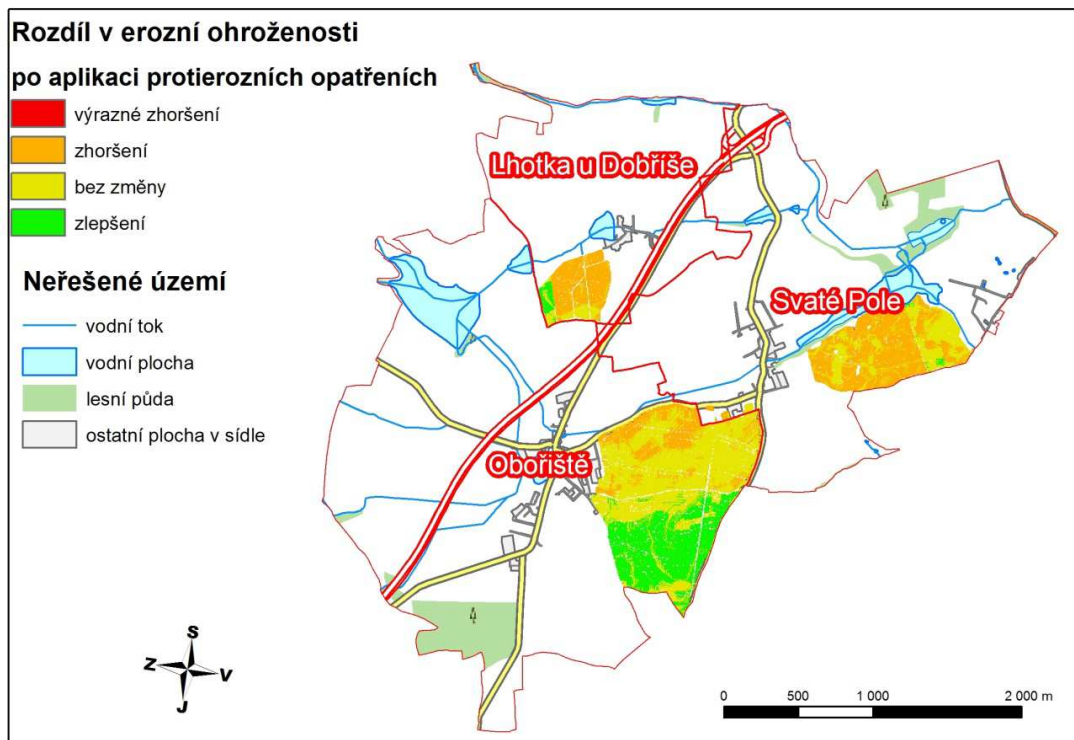
Tato protierozní opatření měla za následek zkrácení délek povrchového odtoku, zvýšení vsaku a kontrolovanému odtoku vody. Jednak jimi byl snížen faktor protierozní účinnosti vegetačního pokryvu a zároveň faktor účinnosti protierozních opatření. Výsledný výpočet rovnice USLE s uplatněním těchto protierozních opatření poté zřetelně ukazuje výrazné snížení erozní ohroženosti na půdních blocích, kde byla aplikována protierozní opatření oproti současnému využití (Obrázek č. 19). Porovnání erozní ohroženosti na vybraných půdních blocích mezi lety 1824 – 1845 a současným využíváním s uplatněním protierozních opatření názorně ukazuje Obrázek č. 20 a Tabulka č. 9.



Obrázek č. 19: Aplikace výpočtu rovnice USLE s uplatněnými protierozními opatřeními (autor 2014), podkladová data ZABAGED

Tabulka č. 9: Porovnání erozní ohroženosti na půdních blocích, kde byla uplatněna protierozní opatření, a využití v roce 1845 (autor 2014), zdrojová data: Obrázek č. 20

Změny v ohrožení půdy vodní erozí 1845 - 2014 po aplikaci PEO na vybraných půdních blocích		
	rozloha v ha	podíl změny v %
<i>výrazné zhoršení</i>	0,0125	0,01%
<i>zhoršení</i>	53,1125	33,94%
<i>bez změny</i>	72,0975	46,07%
<i>zlepšení</i>	31,2825	19,99%
<i>výrazné zlepšení</i>	0	0,00%
<i>plocha celkem</i>	156,505	100,00%



Obrázek č. 20: Rozdíl erozní ohroženosti mezi roky 1845 a 2014 po aplikaci navrhovaných protierozních opatření, zobrazení změn pouze na půdní bloky dotčené protierozními opatřeními (autor 2014), podkladová data: ZABAGED

7. Diskuse

Výsledky historické analýzy erozní ohroženosti ve sledovaném území obcí Obořiště a Svaté Pole svědčí o výrazné změně ve způsobu hospodaření. Pomocí moderních technologií geografických informačních systémů a interpretací historických mapových děl získáváme přehled o erozní ohroženosti v porovnání mezi dvěma obdobími dějin, 1. poloviny 19. století a současnosti.

Vycházíme-li z předpokladu, že naši předci se ke krajině ve svém okolí chovali ohleduplněji, než současní hospodáři (Vos a Meekes, 1999; Bičík, 2010; Kolejka 2013, a další) bylo potřeba hodnoty z doby vzniku map stabilního katastru nastavit jako „referenční“. Z toho vyplývá, že při analýze se data, která se vztahovala k době vzniku map Stabilního katastru. Bylo nutné použít odborný odhad. Vzhledem k erozní ohroženosti byly použity nejpříznivější hodnoty. Tento přístup byl použitý především při určování plodin pěstovaných na plochách zemědělské půdy. Tedy tak, že se na orné půdě pěstovaly především obiloviny, které jsou z pěstovaných plodin erozně nejodolnější (Faktor – C). Bylo uvažováno, že tento faktor byl jediný rozdílový mezi srovnávanými obdobími.

Provedená analýza pomocí geografických informačních systémů nad daty z doby 1. poloviny 19. století potvrdila, že při využívání zemědělské půdy pouze obilninami, loukami a pastvinami, při erozně odolnějším rozmístění těchto druhů pozemků, se výsledná hodnota průměrné dlouhodobé ztráty půdy pohybuje pod hranicí erozní ohroženosti na většině území (nižší než 4 t/ha . rok). Tento výsledek je tak možné považovat, jako jednu z možností pro zvýšení erozní odolnosti současného způsobu obdělávání. V důsledku se jedná o organizační protierozní opatření, které spočívá ve změně velikosti a tvaru obdělávaných bloků (pozemků) orné půdy a zároveň protierozní výběr plodin a jejich osázení po vrstevnicích. Brůna, Křováková a Nedbal (2005) částečně zpochybňují přesnost a kvalitu dat z map Stabilního katastru a to především určitým zjednodušením skutečnosti dané účelem mapování. Ovšem pro účely a cíle této práce je vypovídací hodnota těchto podkladů i přes částečnou generalizaci dostatečná.

Současné využití pozemků je výrazně ovlivněno fragmentací, lépe řečeno nedělením, krajiny a pěstováním plodin především na výdělek jako energetické suroviny. Jedná se především o širokořádkové druhy rostlin. V současné době se oproti druhému sledovanému období zvětšily obdělávané bloky půdy bez ohledu na vlastnictví pozemků (většina pozemků je pronajímána). To může být pozůstatkem kolektivizace v 50. letech 20. století (Bičík, 2010). Po změně politického režimu v 90. letech do současnosti, se změnila i ochota starat se o vlastní zemědělskou půdu vzhledem k vytíženosti profesního života. Většinu pozemků tak dnes obhospodařuje zemědělské družstvo se sídlem v Rosovicích. Tento zemědělský subjekt tak nemá potřebu, díky své těžké mechanizaci zaměřené na velké lány polí, nějakým způsobem dělit velké půdní bloky. Z těchto důvodů se výsledek erozní ohroženosti pro součas-

né využití území pohybuje v hodnotách erozně ohrožených (více než 4 t/ha. rok) a v některých částech i silně erozně ohrožených půd (více než 10 t/ha. rok).

Autor se plně ztotožňuje s prof. Janečkem, který ve svých publikacích upřednostňuje především organizační, v menší míře agrotechnická a technická protierozní opatření a to především s ohledem na svažitost pozemků, pěstované plodiny a způsob jejich pěstování (Janeček a kol., 2012). Jak již bylo popsáno výše, jednou z možností zvýšení erozní odolnosti je návrat ke způsobu hospodaření v době vzniku Stablního katastru jako aplikaci organizačních protierozních opatření. Jednalo by se o změnu pěstovaných kultur a fragmentace velkých půdních bloků travními porosty. Tato opatření však narážejí na neochotu hospodařících subjektů a vlastníků pozemků vzhledem k ekonomickému výdělku z plodin.

Po porovnání všech tří možných scénářů dalšího vývoje hospodaření v zájmovém území dospěl autor k názoru, že nejúčelnějším protierozním opatřením by byla změna pěstovaných plodin a jejich rozsah přibližně do stavu z let 1824 – 1848. Ve srovnání s lokalitou (povodí řeky Litavy) zkoumanou Havlíčkem a kol. (2009) se jedná o podobné dlouhodobé změny využití v rámci podílu jednotlivých kultur a rozdíl v ohroženosti tak plyne především z výběru plodin.

Naopak nejhorší ohrožení půdy vodní erozí je v zájmovém území současný stav obhospodařování. Problémy nastávají především v relativně velkých blocích půdy s nepřerušovaným odtokem dešťové vody spolu s částí orné půdy a skladbou pěstovaných plodin. Širokořádkové plodiny, které výrazně podporují vodní erozi, jsou pěstovány i na svažitých pozemcích a to i přesto, že v celém zájmovém území je relativně nízká svažitost. Tento způsob hospodaření je pro udržení kvalitních půd pro další vývoj v zájmovém území neudržitelný. Následkem vodní eroze je zhoršována její mocnost, kvalita a v konečném důsledku je tato plocha nepoužitelná pro další zemědělskou výrobu, pokud ne definitivně tak v řádu desítek let (Janeček a kol., 2012). Mnoho hospodářů si neuvědomuje, že eroze půdy má i své ekonomické následky a to i na úkor výnosu z plodin. Eroze je v ekonomickém pojetí externalitou, tedy jevem, který neovlivňuje pouze původce škody, ale i další subjekty (Pražan, 2004).

Jako třetí variantu navrhuje autor při možnosti zachování velikosti půdních bloků a vegetačního pokryvu, aplikaci a vznik nových protierozních opatření organizačního charakteru (pásové střídání plodin na velkých blocích s výraznějším topografickým faktorem), případně technických opatření pro bezpečné zachycení a odvedení dešťové vody (záchytné a svodné průlehy). Tyto postupy zapříčiní především přerušování souvislého odtoku vody a omezení smyvu půdy (Janeček a kol., 2008). Vysazením travních porostů a jetelovin do průlehy nebo jako meziplodinu dojde ke zvýšení erozní stability celého půdního bloku. Návrh protierozních opatření je situován do lokalit s nejvyšší hodnotou dlouhodobého průměrného ročního smyvu půdy. Opatření aplikovaná v zájmovém území snížila hodnotu výsledku rovnice USLE v daných lokalitách na nižší hodnoty, tedy pod kritickou hodnotu erozní ohroženosti. Tato

možnost úpravy hospodaření vytváří kompromis mezi ekonomickou výnosností pěstovaných plodin a ochranou zemědělské půdy (Pražan, 2004).

Guth a Kučera (1997) upozorňují stejně jako Brůna a kol. (2005) na nutnost částečné korekce dat, používaných v této práci, vůči realitě, přestože jsou informace z map stabilního katastru v rámci zkoumané problematiky a danému časovému období nejpřesnější. Autor surová data získaná z dostupných zdrojů částečně generalizuje a tím i koriguje jejich autenticitu a přesnost.

8. Závěr

Pomocí výpočtů, analýz dostupných dat a využití geografických informačních systémů bylo zjištěno, že hospodaření na pozemcích ve sledovaném území bylo z hlediska vodní eroze výrazně šetrnější v období 1. poloviny 19. století. Byla zde identifikována přirozená protierozní opatření, jako jsou pásy luk a pastvin uvnitř velkých bloků orné půdy. Vzhledem k ne příliš členitému území jsou i v dnešní době dostatečná organizační a jednoduchá technická protierozní opatření.

Přínos práce spočívá ve vytvořeném postupu zpracování geografických dat spolu s informacemi o hospodaření v dané lokalitě, který může být použitý jako podklad pro koncepční dokumenty i konkrétní záměry v území, jež se dotýkají využití území a zemědělské půdy. Kvantitativní vyjádření výsledků, jejichž efektivní zpracování bylo docíleno nástroji použitého software geografických informačních systémů, umožňují ucelený náhled na problematiku vodní eroze v dané lokalitě. Zároveň poukazují na konkrétní místa orné půdy, která jsou potřeba chránit před vodní erozí aplikací vhodných protierozních opatření.

Po aplikaci postupu a výpočtu je možné výsledky uplatnit jako podklad pro navazující formy krajinného plánování v rámci identifikace problémů v území pro účely územně analytických podkladů, průzkumů a rozborů při zpracování územně plánovacích dokumentací, případně při zpracování komplexních pozemkových úprav. Obě sledované obce nemají v tuto chvíli zpracované komplexní pozemkové úpravy a tak by práce mohla sloužit jako podklad pro návrh plánu společných zařízení.

9. Přehled literatury a použitých zdrojů

ArcČR ® 500. Praha: ARCDATA Praha s.r.o., 2014. Digitální vektorová geografická databáze. Dostupné z: <http://www.arcdata.cz>

Atlas podnebí Česka. 1. vydání. Praha: Český hydrometeorologický ústav; Olomouc: Univerzita Palackého, 2007. 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1

BENNET, H. H.: *Elements of soil conservation*. New York – Toronto – London, 1955

BENNET, H. H.: *Soil conservation*. New York – London, 1939

BIČÍK, I. a kol.: *Vývoj využití ploch v Česku*. Praha: Česká geografická společnost, 2010. ISBN 978-80-904521-3-8

BRŮNA, V.; KŘOVÁKOVÁ, K.; NEDBAL, V.: *Stabilní katastr jako zdroj informací o krajině*. Historická geografie, Historický ústav AV ČR, Praha, č. 33, str. 397, 2005

COOLEY, Skye. LS Factor in RUSLE. PELTON, Jim, FRAZIER Eli a PIKCILINGIS Erin. *LS Factor in RUSLE* [online]. Bois State University, (c) 2014 [cit. 2014-12-21]. Dostupné z: <http://gis4geomorphology.com/>

COPPOCK, J. T., & RHIND, D. W.: The history of GIS. *Geographical information systems: Principles and applications*, 1(1), str. 21-43. 1991

Císařské povinné otisky stabilního katastru 1:2 880 – Čechy, Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, 2014. Barevné rastrové kopie povinných otisků map stabilního katastru z let 1826 – 1843. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz>

Data BPEJ, Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i., 2014. Bonitované půdně ekologické jednotky, vektorová data

DEMEK, J., ed.: *Zeměpisný lexikon ČR – Hory a nížiny*. 2.vydání, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Brno, 2006, 582.s.

ESRI: *ArcGIS for Desktop Help (návoděda aplikace ArcGIS 10.2)*. Redlands (California): ESRI, 2006

FORMAN, R. T.T.; GODRON, M.: *Krajinná ekologie*. Academia, 1993

GUTH, J.; KUČERA, T.: Monitorování změn krajinného pokryvu s využitím DPZ a GIS. *Příroda*, : s. 107-124, 1997, 10

HAVRLANT, M.; BUZEK, L.: *Nauka o krajině a péče o životní prostředí*. Státní pedagogické nakladatelství, 1985

HAVLÍČEK, M.; BOROVEC, R.; SVOBODA, J.: Long-term changes in land use in the Litava River basin. *Acta Pruhoniciana*, str. 31-39, 2009, 91 s.

HENGL, T., REUTER, H.I. (eds.): *Geomorphometry: concepts, software, applications*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier, 765 p. (Developments in soil science, vol. 33). 2009

HŮLA, J., JANEČEK, M., KOVAŘÍČEK, P., BOHUSLÁVEK, J.: *Agrotechnická protierozní opatření*. VÚMOP Praha. 2003

CHILDS, C.: *Interpolating surfaces in ArcGIS Spatial Analyst*. *ArcUser* 7 (3), 32–35. 2004

CHLUPÁČ, I., a kol.: *Geologická minulost České republiky*. 1. vydání. Praha: Academia, 2002. 436 s. ISBN 80-200-0914-0

JANEČEK, M. a kol.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 1. Vydání, Powerprint v Praze. 2012

JANEČEK, M. a kol.: *Základy erodologie*. Praha: Fakulta životního prostředí – Česká zemědělská univerzita v Praze. 2008

KLIMÁNEK, M.: *Digitální modely terénu*. 1.vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 85 s. 2006

KOLEJKA, J.: *Nauka o krajině: geografický pohled a východiska*. 1. vydání. Praha: Academia, 2013, 439 s., xxxvi s. obr. příl. ISBN 978-80-200-2201-1

LIPSKY, Z.; KOPECKY, M.; KVAPIL, D.: Present land use changes in the Czech cultural landscape. *Ekologia (Slovak Republic)*, 1999

LPIS_pudni bloky, Praha: ministerstvo zemědělství, 2014. Portál farmáře. Dostupné z: <http://www.eagri.cz>

McCOOL, D. K. a kol.: Revised slope steepness factor for universal soil loss equation. *Transaction of the ASAE* 30, str. 1387 – 1396. 1987

MITASOVA, H., MITAS, L., BROWN, W. M., JOHNSON, D., Multidimension Soil Erosion/deposition Modeling and visualization using GIS. *Final report for USA CERL. University of Illinois, Urbana-Champaign, IL*. 1998

MUSGRAVE, G. W.: The Quantitative Evaluation of Factors in Water Erosion, A First Approximation. *J. of Soil and Water Conservation*, ročník 2, číslo 3, str. 133 – 138. 1947

Ortofoto ČR, Praha: český úřad zeměměřický a katastrální, 2014. Letecké snímky ČR 2013. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz>

PALEČEK, M.: ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Půdní mapa 1:1 000 000*. 1:1 000 000. Praha 1: Česká geologická služba, 2012. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/wms>

PRAŽAN, J.: *Willingness to Pay as a Method for evaluation of landscape and biodiversity in the Czech republic*. In: Scasny M. a kol. *Development of the Czech Society in the European Union. Part V: Non-market Valuation Methods in Environmental Area*. Karlova Univerzita v Praze: Matfyzpress, str. 269 – 272. ISBN 80-86732-35-5

QUITT, E.: *Klimatické oblasti Československa*. Praha: Academia, 1971. 73 s. *Studia geographica*; sv. 16

RENARD, K. G. A kol.: *Predicting Soil Erosion by Water, A Guide to Conservation Planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook 703, USDA-ARS. 1997

SKLENIČKA, P.: *Základy krajinného plánování*. Naděžda Skleničková, 2003.

SMITH, D.D.: *Interpretation of Soil Conservation Data for Field Use*, *Agr. Eng. Ročník 38*, str. 422 – 425, 1941

UHROVÁ, J.: *Metody výpočtu erozního smyvu*. JUNIORSTAV.. 2008

VICHROVÁ, M. *Katalog objektů stabilního katastru* [online]. Plzeň, 2006 [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: <http://archivnimapy.cuzk.cz/>. Popisná práce. Západočeská univerzita v Plzni, katedra matematiky, oddělení geomatiky

VOPRAVIL, J., KHEL, T., HOLUBÍK, O.: *Stanovení faktoru erodovatelnosti půd České republiky*. *Vodní hospodářství*. 2011, č. 6, 249 - 252. Dostupné z: <http://www.vodnihospodarstvi.cz>

VOS, W. a MEEKES H.: *Trends in European cultural landscape development: perspectives for a sustainable future*. *Landscape and Urban Planning.*, č. 46, str. 3-14. 1999

VOTRUBEC, J. a VLASÁK, J.: *Výpočet erozní ohroženosti půdy s využitím gridu*. *Acta Montanistica Slovaca*, str. 247-255. 2005

VOŽENÍLEK, V. a kol.: *Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu*. 1.vydání. Olomouc: Univerzita Palackého, 185 s., 2001 ISBN 80-244-0383-8

Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED ®). Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, 2014. Vektorová data polohopisu a výškopisu ČR. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz/>

ZACHAR, D.: *Erózia pôdy.* SAV Bratislava. 1970

ZDRAŽIL, K.: *Ekonomické hodnocení protierozní ochrany.* ÚVTI MZLVH, Praha 1965

ZINGG, A.W.: Degree and Length of Land Slope as if Affects Soil Loss in Runoff. *Agr. Eng., ročník 21, str. 59 – 64, 1940*

10. Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Land Use v zájmovém území (autor 2014), zdrojová data: ZABAGED, ArcČR 500.....	25
Obrázek č. 2: Základní mapa zájmového území (autor 2014), zdrojová data: ČÚZK, ZM 25 (online).....	26
Obrázek č. 3: Sklonitost v zájmovém území (ve °), (autor, 2014), zdrojová data: ZABAGED.....	27
Obrázek č. 4: Půdní typy dle České geologické společnosti (autor 2014), zdrojová data WMS ČGS (2014).....	27
Obrázek č. 5: Digitální model terénu interpolační metodou IDW (autor 2014).....	31
Obrázek č. 6: K-faktor odvozený z hlavních půdních jednotek BPEJ (autor, 2014)	32
Obrázek č. 7: výstup analýzy směr odtoku - flow direction (autor, 2014).....	34
Obrázek č. 8: kódování směru odtoku při použití nástroje Flow Direction (ArcGIS Desktop Help, 2014).....	34
Obrázek č. 9: Místa s výskytem akumulace odtokové vody, maxima se vyskytují podél vodních toků (autor, 2014)	35
Obrázek č. 10: kódování a symbologie výsledného rastru akumulace odtoku (ArcGIS for desktop Help, 2014)	35
Obrázek č. 11: Sklonitost území pro účely výpočtu topografického faktoru (autor, 2014)	36
Obrázek č. 12: Rastrový výstup výpočtu LS-faktoru (autor, 2014)	37
Obrázek č. 13: Klasifikovaná mapa Stablního katastru podle využití pozemků s přiřazeným faktorem-C (autor, 2014)	38
Obrázek č. 14: C- faktor současného stavu využití pozemků (autor 2014)	39
Obrázek č. 15: Výsledný výpočet rovnice USLE při použití GIS pro období 1824-1843 (autor, 2014)	41
Obrázek č. 16: Výsledný výpočet rovnice USLE při použití GIS pro současné využití pozemků (autor 2014)	42
Obrázek č. 17: Porovnání erozní ohroženosti ve sledovaných obdobích (autor 2014), podkladová data ZABAGED	44
Obrázek č. 18: Návrh protierozních opatření (autor 2014), podkladová data ZABAGED	46

Obrázek č. 19: Aplikace výpočtu rovnice USLE s uplatněnými protierozními opatřeními (autor 2014), podkladová data ZABAGED 47

Obrázek č. 20: Rozdíl erozní ohroženosti mezi roky 1845 a 2014 po aplikaci navrhovaných protierozních opatřeních, zobrazení změn pouze na půdní bloky dotčené protierozními opatřeními (autor 2014), podkladová data: ZABAGED 48

11. Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Hodnoty K-faktoru dle BPEJ (Janeček a kol. 2012)	16
Tabulka č. 2: Exponent sklonu svahu v závislosti na sklonu svahu a poměru rýžkové a plošné eroze (Renard a kol., 1997)	18
Tabulka č. 3: Průměrné hodnoty C faktoru pro jednotlivé plodiny (Janeček a kol., 2012)	19
Tabulka č. 4: Hodnoty faktoru protierozních opatření (Janeček a kol., 2008)	20
Tabulka č. 5: Výměra druhů pozemků ve sledovaných obcích zájmového území (autor z podkladů ČSÚ, 2014)	25
Tabulka č. 6: Porovnání ohroženosti zemědělské půdy vodní erozí (autor 2014), zdrojová data: Obrázky č. 15 a 16.....	42
Tabulka č. 7: Porovnání Land Use ve sledovaných obdobích (autor 2015), podklady ČSÚ a výpočty v GIS.....	43
Tabulka č. 8: Změny v ohroženosti půdy vodní erozí, porovnání sledovaných období (autor 2015), zdrojová data: Obrázek č. 17	44
Tabulka č. 9: Porovnání erozní ohroženosti na půdních blocích, kde byla uplatněna protierozní opatření, a využití v roce 1845 (autor 2014), zdrojová data: Obrázek č. 20	47