

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY
A ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ**

**Vyhodnocení vybraného povodí z hlediska ohroženosti
vodní erozí v prostředí geografických informačních
systémů**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Vítězslav Moudrý
Diplomant: Bc. David Kincl

2010



Česká zemědělská univerzita v Praze
Katedra: aplikované geoinformatiky a územního plánování

Fakulta životního prostředí
Školní rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro: **Bc. Davida Kincla**
obor: **Krajinné inženýrství**

Název tématu: **VYHODNOCENÍ VYBRANÉHO POVODÍ Z HLEDISKA OHROŽENOSTI
VODNÍ EROZÍ V PROSTŘEDÍ GIS**

Název tématu v anglickém jazyce: **EVALUATION OF WATER EROSION VULNERABILITY
IN SELECTED CATCHMENT**

Zásady pro vypracování:

Řešitel analyzuje a zhodnotí míru ohroženosti povodí IV.řádu vodní erozí. Zkoumán bude jak reálný stav, tak modelové scénáře, které by nastali při změnách krajinného pokryvu (odlesnění, zatravnění). Při řešení problematiky bude jako hlavního nástroje využito geografických informačních systémů, konkrétní software zvolí autor (IDRISI nebo ARCGIS). Součástí práce bude zhodnocení přínosu použitého systému při řešení takovéto případové studie.

Autor zpracuje literární rešerši k oběma dílčím tématům (eroze a GIS), přičemž hlavní důraz bude kladen na využití GIS pro analýzu erozní ohroženosti a problematika vodní eroze.



Rozsah grafických prací: dokumentující řešení v GIS

Rozsah průvodní zprávy: min. 40 stran textu

Seznam odborné literatury:

- FOSTER, G. R., et al.: User's Guide – Revised Universal Soil Loss Equation RUSLE2 [online]. 2003 Dostupné z:
<http://fargo.nserl.purdue.edu/rusle2_dataweb/userguide/RUSLE2-2-3-03.pdf>
- HOLÝ, M.: Eroze a životní prostředí, ČVUT Praha, 1994. 383 str. ISBN 80-01-01078-3.
- JANEČEK, M. a kol.: Ochrana zemědělské půdy před erozí. 1.vyd. Praha, 2002. 201 str. ISBN 85866-85-8.
- RAPANT, P. : Geoinformatika a geoinformační technologie. VŠB-TU Ostrava, 2006. 500 str. ISBN 80-248-1264-9
- VIEUX, B. E.: Distributed Hydrological Modeling using GIS, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2004. 289 s. ISBN: 1-4020-2459-2
- Dokumentace k použitým programovým prostředkům

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vítězslav Moudrý**

Datum zadání diplomové práce: září 2009

Termín odevzdání diplomové práce: **duben 2010**

Vedoucí katedry

3. 12. 2009

V Praze dne



Děkan

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Vítězslava Moudrého. Další informace mi poskytli Prof. Ing. Miloslav Janeček, DrSc a Ing. Jan Vopravil, Ph.D.. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze 30.4.2010

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Vítězslavu Moudrému za vedení a cenné rady při vypracování. Dále bych poděkoval Prof. Ing. Miloslavu Janečkovi, DrSc a Ing. Janu Vopravilovi, Ph.D. za možnost konzultace práce.

Abstrakt

Cílem této práce bylo analyzovat a zhodnotit míru ohroženosti povodí Budňanského potoka vodní erozí, při simulaci různých scénářů. Práce by tak měla poskytnout představu, jaké může být současné, ale i potenciální ohrožení zájmového území, které je součástí CHKO Český kras.

První část práce všeobecně pojednává formou literární rešerše o problematice eroze, kdy toto téma bylo rozpracováno v následujících kapitolách:

Pojem eroze půdy- pojednává o významu a příčinách eroze v historii i současnosti.

Rozšíření eroze- tato část uvádí ohroženost jednotlivých kontinentů a popisuje problematiku metody určení erozního ohrožení.

Následky eroze- popisuje důsledky eroze na půdní vlastnosti, kdy dochází k fyzikální, chemické, ale i biologické degradaci.

Příčiny eroze- tato kapitola představuje vliv jednotlivých činitelů na vznik a průběh eroze.

Predikce ohroženosti vodní erozí- hodnocen je význam jednotlivých modelů pro určení míry vodní eroze. Posuzovány byly jak empirické, tak i matematické simulační modely.

Přípustná mez eroze- uvádí podle kterých kritérií je přípustná ztráta stanovena a jakých hodnot pro dané půdy může nabývat.

Protierozní opatření- představuje současně používaná protierozní opatření, která jsou dělena na organizační, agrotechnická a technická.

Druhá část práce je praktická. Zabývá se použitím programů ArcGIS a USLE 2D pro stanovení dlouhodobé průměrné ztráty půdy vodní erozí. Řeší problematiku postupu a simuluje stanovené varianty, které jsou v zhodnoceny v závěrečné části.

Práce prokázala možnost posouzení erozního ohrožení povodí IV. řádu. Výhoda použité metody spočívá ve skutečnosti, že zjištěné výsledky jsou srovnatelné s jinými mnohdy i složitějšími modely. Tento přístup tak nabízí možnost, jak hodnotit i jiná zemědělsky využívaná území.

Klíčová slova: USLE 2D, ArcGIS, eroze půdy, CHKO Český kras

Abstract

This work aims to analyse and review the Budňanský Stream Basin (povodí Budňanského potoka) hazard rate caused by water erosion while simulating various scenarios. This work should thus give a view of possible present and future risk for the mentioned area which is an integral part of the Czech Carst Protected Landscape Area (CHKO Český kras).

In general, the first part deals with erosion problems using the form of literature retrieval. Detailed analysis of this topic was made in the following chapters:

Term soil erosion – the erosion significance and factors in the past and at present is described here.

Erosion expansion – this part shows endangering of individual continents and describes problems of the method for erosion hazard determination.

Rozšíření eroze- tato část uvádí ohroženost jednotlivých kontinentu a popisuje problematiku metody určení erozního ohrožení.

Erosion consequences – erosion implications for soil features when physical, chemical and biological degradations arise are described in this part.

Erosion factors – this chapter introduces the influence of individual agents on eroding and its course.

Water erosion hazard prediction – in this part the significance of particular models to water erosion determination is evaluated. Both empirical and mathematical simulation models were considered.

Permissible erosion limit – this limit states the standards for the permissible limit and its levels concerning the given soils.

Erosion protection arrangements – the last chapter introduces erosion protection arrangements used at present. Those are divided into organisational, agricultural and technical.

The second part of my work is practical. It deals with the usage of ArcGIS and USLE 2D programmes for the determination of long-term average soil loss caused by water erosion. Process problems are solved here and simulated specified alternatives are evaluated in the closing part of this work.

The work displays the possibility of judgement of the IV. th. order basin erosion endangering. The advantage of the applied method consists in the fact that the determined results are comparable to other, often more complicated, simulations. Thus this approach offers a possibility how to evaluate even other agriculturally used areas.

Keywords: USLE 2D, ArcGIS, soil erosion, CHKO Český kras

OBSAH:

1. ÚVOD	9
2. CÍLE PRÁCE	10
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	11
3.1 POJEM EROZE PŮDY.....	11
3.2 ROZŠÍŘENÍ EROZE	12
3.3 NÁSLEDKY EROZE.....	13
3.3.1 Fyzikální vlastnosti půdy	13
3.3.2 Chemické vlastnosti půdy.....	14
3.3.3 Biologické degradace půdy.....	14
3.4 PŘÍČINY EROZE	15
3.4.1 Srážky a vznikající odtok.....	15
3.4.2 Větr	16
3.4.3 Morfologie území	19
3.4.4 Geologické a půdní poměry	20
3.4.5 Vegetační kryt	22
3.4.6 Způsoby užívání půdy.....	23
3.5 DRUHY EROZE.....	24
3.5.1 Druhy eroze podle činitele.....	24
3.5.2 Druhy eroze podle intenzity	27
3.5.3 Formy povrchové vodní eroze.....	28
3.5.4 Podpovrchová vodní eroze.....	31
3.6 PREDIKCE OHROŽENOSTI POZEMKŮ VODNÍ EROZÍ	31
3.6.1 Empirické modely	32
3.6.2 Matematické simulační modely vodní eroze a transportu látek	35
3.7 PŘÍPUSTNÁ MEZ EROZE	40
3.8 PROTIEROZNÍ OPATŘENÍ.....	41
3.8.1 Organizační opatření.....	42
3.8.2 Agrotechnická opatření.....	42
3.8.3 Technická opatření	43
4. CHARAKTERISTIKA ŘEŠENÉHO ÚZEMÍ	44
4.1 GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY	44
4.2 GEOLOGICKÉ POMĚRY	45
4.3 PEDOLOGICKÉ POMĚRY	46
4.4 KLIMATICKÉ POMĚRY	47
4.5 HYDROLOGIE A CHARAKTERISTIKA BUDŇANSKÉHO POTOKA	47
4.6 VEGETAČNÍ POMĚRY	48
5. METODIKA	49
5.1 STANOVENÍ VARIANT	49
5.2 METODA VÝPOČTU DLOUHODOBÉ ZTRÁTY PŮDY VODNÍ EROZÍ.....	51
5.3 FAKTOR EROZNÍ ÚČINNOSTI DEŠTĚ R.....	51
5.3.1 Metodika vytvoření R faktoru	52
5.4 FAKTOR ERODOVATELNOSTI PŮDY (K)	53
5.4.1 Metodika vytvoření K-faktoru.....	54
5.5 MORFOLOGICKÝ FAKTOR LS	55
FAKTOR DÉLKY SVAHU (L).....	55

FAKTOR SKLONU SVAHU (S).....	56
5.5.1 Metodika vytvoření LS-faktoru	56
5.6 FAKTOR OCHRANNÉHO VLIVU VEGETACE (C)	63
5.6.1 Metodika vytvoření C-faktoru.....	64
5.7 FAKTOR ÚČINNOSTI PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ (P)	65
5.8 METODIKA URČENÍ OHROŽENOSTI POZEMKŮ VODNÍ EROZÍ	65
6. VÝSLEDKY	67
7. DISKUZE	70
8. ZÁVĚR	74
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	76
PŘÍLOHY.....	80

1.Úvod

V celosvětovém měřítku je eroze půdy jedním z mnohdy až tragických důsledků nerozumného využívání přírodních zdrojů člověkem a současně příčinou mnohdy nevratné degradace půdy a krajiny. Obecnou příčinou obvykle bývá nerespektování přírodních charakteristik a zákonů. (SKLENIČKA, 2003)

Problém eroze zemědělsky využívaných půd je problémem světovým, který má za následek každoroční úbytek tisíců km² zemědělské půdy. Půda jako jeden z hlavních zdrojů biosféry je podle definice OSN “omezený a nenahraditelný přírodní zdroj; v případě postupující degradace a její ztráty se stává tento zdroj v mnoha částech světa hranicí dalšího rozvoje lidské společnosti. Jestliže by půda přestala existovat, přestane existovat biosféra s ničivými následky pro lidstvo“. (JANEČEK ET AL. 2002; HOLÝ, 1994)

Podmínky pro výskyt erozních procesů jsou specifické, neboť při přechodu na velkovýrobní způsob obhospodařování a při další intenzifikaci zemědělské výroby byl problém eroze i u nás značně podceněn a následky zrychlené eroze zemědělských půd vážně ohrožují jejich úrodnost, včetně mnohamilionových škod v intravilánech měst a obcí, způsobovaných povrchovým odtokem a smyvem půdy ze zemědělských pozemků. (JANEČEK ET AL. 1992)

Jak je patrné, eroze půdy se stává skutečnou hrozbou. V současnosti Evropa a potažmo Česká republika sice nejsou tak erozně ohroženy jako například Asie nebo Afrika, nicméně i u nás pokud by se tato problematika přehlížela došlo by na některých místech k nevratné degradaci půdy. Proto je nezbytné problematiku eroze stále studovat a co nejodpovědněji řešit.

Při zjišťování, ale i předcházení eroze se čím dál více začínají uplatňovat geografické informační systémy (GIS). GIS je systém pro správu, analýzu a zobrazování geografických informací. (DUMBROVSKÝ, 2009) Výhoda použití spočívá v nových možnostech stanovení a vyhodnocení vodní eroze, oproti klasické metodě. Přesně takový přístup nabízí kombinace programů ArcGIS a USLE 2D, která se používá pro vyhodnocení ztráty půdy. Aplikace programů v této práci má ukázat, jestli je možné vyhodnotit míru erozního ohroženého povodí Budňanského potoka a zda jsou výsledky srovnatelné s jinými přístupy výpočtu.

2. Cíle práce

Cílem této práce je zhodnotit míru ohroženosti povodí Budňanského potoka vodní erozí, pomocí programu ArcGIS a USLE 2D. Posouzeny budou přínosy použití geografických informačních systémů pro vyhodnocení eroze oproti klasické metodě.

Cíle jednotlivých variant:

- 1) zjistit, zda vypočtená ohroženost povodí odpovídá klasifikaci serveru SOWAK GIS.
- 2) vyšetřit, jak se projeví aplikace protierozního osevního postupu na výslednou ztrátu.
- 3) určit, jakých hodnot bude nabývat ztráta půdy vodní erozí, kdyby došlo ke zornění luk a pastvin při současném způsobu hospodaření.
- 4) posoudit ohrožení, pokud by došlo k odlesnění a zornění lesních půd

Tato práce by měla sloužit jako podklad pro zvážení přístupu současného hospodaření v povodí, případně pro bližší upřesnění pozemků, na kterých by protierozní opatření měla být dále řešena.

3. Literární rešerše

3.1 Pojem eroze půdy

Eroze je přírodní jev, který spočívá v rozrušování půdy vodním smyvem, větrným odnosem nebo ledovcovým obrusem a jejím následným transportem do jiných poloh, kde se pak přemístěné hmoty akumulují jako nánosy, naplaveniny nebo navátiny. Tato činnost velmi poškozuje úrodnost zemědělských půd, takže půda se musí před účinky eroze chránit různými biologickými a technickými způsoby, které souborně tvoří protierozní ochranu půdy. (FÍDLER ET JŮVA, 1983).

V minulých geologických obdobích se eroze podílela na vytváření formy zemského reliéfu, kdy byla vystřídána v současné epoše tzv. „soudobou erozí“, modelující dále zemský povrch. Soudobou erozi můžeme dále rozdělit na erozi normální, při níž erozní jevy probíhají zvolna při stavu rovnováhy v přírodě a jako eroze abnormální neboli zrychlenou, při porušení rovnováhy. (HOLÝ, 1994)

Zrychlená eroze je z geologického hlediska prakticky nováčkem, pokud bychom ji však vztáhli k lidskému časovému měřítku, tak ji za nováčka rozhodně považovat nebudeme. Můžeme si dovolit říci, že zrychlená eroze je právě tak stará jak lidstvo samo. To dokládají i mnohé archeologické nálezy v mnoha částech světa, které jsou spojované s raným zemědělstvím. (MORTLOCK, 2005a)

V důsledku eroze půdy dochází k ochuzení zemědělské půdy o nejúrodnější část - ornici, zhoršuje fyzikálněchemické vlastnosti půd, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, poškozuje plody a kultury, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztráty osiv, sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin. Transportované půdní částice a na ně navázané látky znečišťují vodní zdroje, zanášejí akumuláční prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organizmy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin, velké povodňové průtoky poškozují budovy, komunikace, koryta vodních toků apod. (JANEČEK ET AL. 2002)

Záznamy o degradaci půdy erozí jsou staré více než 7000 let. Poznání, že člověkem zrychlená eroze jej může ohrozit, je však relativně nové a věda o protierozní ochraně byla ještě před začátkem dvacátého století téměř neznámá. Výraz eroze půdy poprvé použil na počátku 20. století W. J. MC GEE, avšak v literatuře se začal běžně používat až ve 30. a zejména ve 40. letech minulého století. Za zakladatele vědeckého oboru

erodologie je považován americký erodolog H.H.BENNET, který zpracoval dosud nepřekonatelné dílo Soil Conservation. (JANEČEK ET AL. 2008)

3.2 Rozšíření eroze

Navzdory celosvětové povaze problému nejsou o erozi půdy dosud zcela přesné informace. Obtížné je určit rozsah, velikost, rychlost a její důsledky na hospodářství, nebo životní prostředí. Odhaduje se, že až 15 % půdy (odečtena rozloha ledovců) je ovlivněno **všemi formami erozní degradace**. Vodní erozí je postiženo zhruba 56 % všech půd a větrnou erozí 28 %. Pokud bychom tyto hodnoty převedly na plochu, tak vodní eroze ohrožuje 11 milionům km² a větrná eroze 5,5 milionům km².

(MORTLOCK, 2005b)

Bližší rozdělení ploch ohrožených vodní erozí uvádí JANEČEK ET AL. (2008), kdy ze statistiky jednoznačně vyplývá, že nejpostiženějším kontinentem je Asie.

Světadíl	Eroze	
	vodní	větrná
Asie	441	222
Afrika	227	186
Jižní a střední Amerika	169	47
Evropa	114	42
Severní Amerika	60	35
Oceánie	83	16
Svět	1094	548

Tab. č. 1 Rozsah ploch ohrožených vodní a větrnou erozí (mil. ha).

Podle JANEČEK ET AL. (2008)

Jedním ze způsobu, jak zjistit celosvětově míru eroze, je odhad ze sedimentů toků a moří, ale ani při této metodě není vždy zřejmé odkud sediment přesně pochází. Poměrně obtížné je i odhadnout tyto erozní ztráty měřením hloubky půdního profilu. Pro lepší pochopení tohoto problému berme příklad, kdy na pozemku může přípustná ztráta půdy (ztráta je závislá na typu půdy) činit 6 t . ha⁻¹ . rok⁻¹. Ve skutečnosti tato ztráta znamená odnos pouze několika mm půdy. (MUIR, 2010)

Vztah mezi produkcí erozních smyvů a průměrnými ročními dešťovými srážkami byl zkoumán ve světovém měřítku, kdy se ukázalo, že ve velmi suchých podmínkách neexistuje povrchový odtok a tedy ani erozní smyv. Naopak při vysokých srážkách

zabraňuje erozi vegetace, takže maximální produkce splavenin se vyskytuje při průměrných hodnotách srážek. Intenzita eroze pod přirozenou vegetací dosahuje maxima tam, kde jsou průměrné roční srážky mezi 250 až 380 mm. Při vyšších srážkách zhuštěná vegetace omezuje erozi, při srážkách menších jak 250 mm není odtok odnášející sediment tak častý.

Odhaduje se, že množství sedimentu odnášených do oceánu vzrostlo z 10 miliard t . rok⁻¹ před zavedením intenzivního zemědělství (pastvy) na 25 až 50 miliard t . rok⁻¹ v současnosti. Za tu dobu bylo zničeno erozí 430 milionů ha produktivních ploch. Současná degradace půdy erozí a jinými faktory vede k nevratné ztrátě produkce na ploše 6 milionů ha . rok⁻¹. Odhady průměrných ztrát půdy erozí ve světovém měřítku kolísají podle různých autorů mezi 0,088 mm . rok⁻¹ do 0,3 mm . rok⁻¹. Tato varující statistika je zatížena nepřesnostmi použitých metod k získávání údajů a jejich extrapolací, neboť globální extrapolace založená na několika údajích zjištěných různými metodami může být chybná. (JANEČEK ET AL. 2008)

3.3 Následky eroze

Degradace půdy vlivem eroze vede ke snížení produkční schopnosti půd. Výzkumy bylo prokázáno, že po odstranění humusové vrstvy půdy se výnosy snížily až o 77 %. Efekt snížení byl různý podle typů půd a plodin, ale můžeme paušálně konstatovat, že se snížily všechny výnosy. Zvýšit se je podařilo až doplňkovým hnojením, ale nikdy již nedosáhly úrovně na neporušeném půdním profilu. Snad za jedinou výjimku můžeme brát hluboké hnojené sprašové půdy, na kterých se vliv odstranění humusového horizontu neprojevil nebo jen minimálně. (PODHRÁZSKÁ, 2008)

3.3.1 Fyzikální vlastnosti půdy

Následkem eroze je změna fyzikálních vlastností půdy, zejména struktury, textury, objemové hmotnosti, vodní kapacity, pórovitosti, infiltrační schopnosti, ale i hloubky pro vývoj kořenů. Změny struktury půdy jsou výsledkem eroze povrchového horizontu. Ačkoliv se nemusí zdát příliš velké, mají významný vliv na vodní režim a tím i na vzájemné vztahy dalších půdních vlastností. (JANEČEK ET AL. 2002)

Podorničí je materiál, který byl po oderodování ornice vystaven vlivu eroze. Má obvykle nízký obsah organických látek, a proto se zdůrazňuje důležitost organické hmoty ve dvou oblastech – ve vývoji struktury agregátů a jejich stabilitě. Degradace struktury účinkem dešťových kapek je hlavní příčinou poškozování agregátů. Dojde-li

vlivem eroze k obnažení podorničí s vyšším obsahem jílu, zvýší se celkový obsah pórů, ale jejich velikost se sníží (začínají převažovat kapilární póry). Ačkoliv se celková vodní kapacita zvýší, kapacita vody dosažitelná pro rostliny se naopak sníží (voda je poutána kapilárními silami). V takovém podorničí je sice dostatek vody, ale je pevně vázána a nepříliš přístupná pro rostliny.

Při neustálém snižování mocnosti přirozeného povrchového horizontu, se přioráváním dostává stále více jílovitého materiálu podorničí do orniční vrstvy, takže obsah přijatelné půdní vody se stále snižuje. V obnaženém podorničí dochází k rozplavování půdní struktury, tím se snižuje propustnost pórů, provzdušenost, infiltrace a zvyšuje se objemová hmotnost. Takto poškozená půda je daleko více náchylnější ke zhutňování a k ztvrdnutí. Tvrdnutí je všeobecně problémem zejména půd s vysokým obsahem jílu podporujícího vznik anaerobního prostředí. Na takovýchto půdách následně dochází ke zvýšení potřeby energie pro agrotechnické operace.

Vede-li naopak eroze k obnažení podorničí s vyšším obsahem písčitéch částic než v přirozeném povrchovém horizontu, dochází ke snižování celkového obsahu pórů. Velikost pórů se zvětšuje, ale podobně jako u podorničí s vyšším obsahem jílu, dochází ke snížení obsahu vody dostupné pro rostliny, i když z jiných příčin (důvodem není její poutání kapilárními silami, ale především výpar a průsak do spodiny). Dochází ke zvýšené infiltraci, a tak povrchový odtok není velký, jako u podorničí s vyšším obsahem jílu. (JANEČEK ET AL. 2008)

3.3.2 Chemické vlastnosti půdy

Dalším následkem eroze jsou změněné chemické vlastnosti půdy, kdy se snižuje obsah organické hmoty a humusu v půdě, obsah minerálních živin a obnažuje se podorničí s nízkou přirozenou úrodností a vyšší kyselostí. Vzhledem ke snižování mocnosti povrchové vrstvy vlivem eroze, dochází při zpracování půdy k mísení podorničí a ornice. Tím dochází k „ředění“ obsahu organických látek. Ztráta organické hmoty je provázána ztrátami hlavních živin, zejména dusíku a fosforu. Bylo zjištěno, že smyvem 1 cm půdy se ztratí 300 kg dusíku. Ztráty humusu mají vliv i na využitelnost herbicidů, kdy erodované půdy s nižším množstvím organických látek snižují jejich efektivitu. (PODHRÁZSKÁ, 2008)

3.3.3 Biologické degradace půdy

Biologická degradace půd je způsobena nadměrnou chemizací používanou kvůli snížené produkční schopnosti erodovaných půd. Dochází tak k úbytku celého edafonu, kde z

mikroorganismů mají největší význam půdní bakterie a aktinomycey. Jejich množství v erodované půdě klesá kvantitativně i kvalitativně a je v podstatě omezen mikrobiální život v půdě. (PODHRÁZSKÁ, 2008)

3.4 Příčiny eroze

Vznik, průběh a intenzita erozního procesu je ovlivněna kombinovaným působením řady přírodních a člověkem ovlivněných podmínek. Nejvýznamnějšími činiteli jsou:

- srážky a z nich vznikající odtok
- vítr
- morfologie území
- geologické a půdní poměry
- vegetační kryt půdy
- způsob užívání půdy

3.4.1 Srážky a vznikající odtok

Vodní eroze vzniká díky běžně se vyskytujícím jevům jako je déšť a roztávající sníh, může také vznikat jakýmikoliv postřikovými aplikacemi vody na povrch půdy. K odloučení jednotlivých částeczek půdy dochází, když dopadající voda udeří na povrch půdy a překoná síly držící částecčky půdy dohromady. Voda s postupem času infiltruje do půdy, kdy infiltrující množství je závislé na intenzitě dopadajících kapek vody na povrch a infiltrační kapacitě půdního profilu. Samotná infiltrační kapacita je funkcí několika hydraulických charakteristik souvisejících se vzdáleností a soudržností jednotlivých půdních částeczek a ostatních mikro-povrchových i podpovrchových vlastností.

Voda, která není schopna infiltrace, zůstává na povrchu a pokud dojde k dosažení určité míry akumulovaného množství, začne nezadržitelně proudit v nejpříkřejším možném směru. Tento hydrologický proces je nazýván jako povrchový odtok při kterém dochází k unášení půdních částic proudící vodou. (HARMON ET DOE, 2001)

Při vyšetřování erozních procesů je nutno hodnotit ovzdušné srážky podle jejich přímého účinku na půdní povrch a na odtok z nich vznikající. Rozdílný účinek mají kapalně srážky a srážky pevné.

Kapalné srážky

Pro vznik a průběh procesů vodní eroze je rozhodující přímé působení dešťových kapek na půdní povrch a jejich vliv na formování a průběh povrchového odtoku. Působení dešťových kapek na půdní povrch je dáno jejich kinetickou energií. Ta je příčinou rozrušování půdních agregátů a uvolňování půdních částic. Při vyšetřování erozních procesů jsou rozhodující přívalové srážky. Je to způsobeno jejich vysokou intenzitou, jejímž důsledkem je destrukční vliv kinetické energie dešťových kapek na povrch půdy a rychlé formování povrchového odtoku. (HOLÝ, 1994)

Síly přenesené erozními činiteli na půdní částice mají dvojí účinek:

Destrukční- půdní částice jsou při dopadu dešťových kapek vytrhovány z povrchu půdy a vystřelovány do výše až 0,6 m nebo přemísťovány do stran až na vzdálenost 1,5 m.

Zhutňující- výsledkem hutněního účinku kapek je vytváření škraloupu na povrchu půdy v důsledku ucpávání pórů jílovými částicemi, které jsou uvolněny z rozpadajících se půdních agregátů. (JANEČEK ET AL. 2008)

Pevné srážky

Z pevných srážek mají pro erozní procesy význam sněhové srážky, neboť sněhová pokrývka dává při jarním tání v některých případech značný povrchový odtok. Ten je závislý na charakteristikách sněhu a na výšce rozložení sněhové pokrývky.

Významnou vlastností je zejména **hustota sněhu**, která se mění vlivem sluneční energie, gravitace, a rekrystalizací sněhových zrn.

Vodní kapacita sněhu vyjadřuje schopnost sněhu udržet určité množství vody v kapalném skupenství a je závislá především na jeho zrnitosti.

Rozložení sněhové pokrývky záleží na srážkových a teplotních poměrech území. Sněhová pokrývka se vytváří v místech, kde se teplota přízemní vrstvy vzduchu udrží po určitý čas pod 0°C, teplota půdního povrchu nevystoupí nad 0°C a bilance přibývání a ztráty tepla je negativní.

Trvání sněhové pokrývky je závislé především na nadmořské výšce a zeměpisné poloze. (HOLÝ, 1994)

3.4.2 Vítr

Proces větrné eroze lze rozdělit do tří fází: 1) uvedení půdních částic do pohybu

2) transport půdních částic

3) ukládání půdních částic

K prvním dvěma fázím dochází působením energie turbulentního proudu přízemního větru, jež je schopna překonat gravitační síly půdních částic. Třetí fáze nastává při poklesu energie větru pod uvedenou mez.

Větrná eroze je vyvolána kinetickou energií větru působícího na půdní povrch. Účinkem této energie se uvolňují půdní částice a jsou uváděny do pohybu včetně chemických látek na ně vázaných. Průměrná rychlost větru se zvětšuje exponenciálně směrem od půdního povrchu do výšky. Podle velikosti půdních částic dochází k trojímu druhu pohybu: ve formě suspenze, pohyb půdních částic skokem (saltací) a sunutím po povrchu. (HOLÝ, 1994)

Druhy pohybů částic

Ve formě suspenze- velmi jemné půdní částice o průměru menším než 0,1 mm se pohybují ve formě vzdušné suspenze. Jemné prachovité částice jsou buď odnášeny do výše většími saltujícími částicemi, nebo dochází k jejich přímému zvednutí, pokud vyčnívají do turbulentní vrstvy větru. Rychlost pádu velmi jemných částic je tak malá, že jsou-li tyto částice jednou zvednuty, zůstávají dlouhou dobu ve vzduchu a mohou být větrem přenášeny na značné vzdálenosti. Ačkoliv tímto druhem pohybu je přepravováno malé procento objemu erodované půdy, jde o její nejúrodnější složku. (JANEČEK ET AL. 2002)

Skokem- pohyb půdních částic skokem je nejvýznamnějším druhem pohybu, neboť při něm dochází k přemístování největšího množství půdních částic. Pohyb se děje sérií nízkých odrazů od půdy a je charakteristický pro částice střední velikosti dostatečně lehké, aby mohly být vyzvednuty z půdního povrchu, ale příliš těžké, aby se pohybovaly ve formě suspenze. Velikost částic, které se pohybují skokem, je od 0,05 do 0,5 mm. Tímto způsobem je přepravováno 50 až 80 % celkově uvolněné zeminy.

Sunutím po povrchu- větší částice, které jsou příliš těžké, a proto nemohou být zdviženy silou větru, jsou sunuty po povrchu půdy, a to jednak silou větru, nebo nárazy půdních částic pohybujících se skokem. Sunutím se obvykle pohybují částice o průměru 0,5 až 2,0 mm, teoreticky však neexistuje hranice pro velikost sunutých půdních částic. Zpravidla představuje okolo 25 % objemu erodované půdy. (HOLÝ, 1994)

Ostatní erozní činitelé

Hlavním erozním činitelem působícím na vznik a průběh větrné eroze je tedy vítr. Dalšími významnými činiteli jsou klima, půdní vlastnosti, drsnost povrchu půdy, vegetační kryty a délka území ve směru působení větru.

Klima

Mezi klimatické činitele, kromě již zmiňovaného větru patří ovzdušné srážky, teplota a výpar. S těmito činiteli přímo souvisí i vlhkost půdy, která je přímo určena množstvím srážek. Významně ji také ovlivňuje teplota a vlhkost ovzduší, jež určují evapotranspiraci a tím úbytek půdní vlhkosti. Vlhkost půdy se stává jedním ze základních činitelů působících na intenzitu deflace, kdy vlhká půda je vlivem koheze půdních částic stálejší než půda suchá.

Půdní vlastnosti

Fyzikální, chemický a biologický stav půdy určuje její odolnost vůči deflační činnosti větru. Pro tuto odolnost je důležitá zejména kvalitní půdní struktury, velikost půdních částic a vlhkost půdy. Lehčí půdní částice podléhají více deflaci než těžší, ale pouze tehdy jsou-li dostatečně vlhké, aby pronikly do turbulentní vrstvy větru. Rozdělení půdních částic mezi erodibilní a neerodibilní není jednoznačné, mění se v závislosti na rychlosti větru a na rozdělení velikosti a hmotnosti půdních částic. (HOLÝ, 1994)

Drsnost půdního povrchu

Drsnost půdního povrchu má vliv na rychlost přízemního větru a tím i na sílu ovlivňující odnos půdních částic. Větší povrchová drsnost má zpravidla příznivý vliv na snížení erozního účinku větru i proto, že mezi vlnami mikroreliefu dochází k zachycování půdních částic. Příliš velká povrchová drsnost s vyvýšeninami a se sklony nad 1,5 % zvyšují turbulenci větru a vystavuje půdní povrch větším silám. (JANEČEK ET AL. 2008)

Optimální rozdíly v drsnosti povrchu jsou 50 až 127 mm.

Vegetační kryt půdy

Vegetace snižuje rychlost větru při půdním povrchu, absorbuje značnou část jeho síly a chrání půdní částice před přímým nárazem větrného proudu. Nejvhodnější je hustá, vyšší vegetace. Tento ochranný prostředek se projevuje pouze u trvalých luk, jelikož v našich podmínkách dochází k procesům větrné eroze nejvýznamněji v předjarním

období, kdy vegetace není dosud vzrostlá a nemůže chránit účinně půdní povrch. (HOLÝ, 1994)

Délka nechráněného území ve směru působení větru

Délka nechráněného pozemku významně ovlivňuje proces větrné eroze. Čím delší je erodovaná plocha, tím větší je počet částic uvolňován. Po určité vzdálenosti dosáhne množství uvolněných částic maximální hodnoty, kterou může vítr při dané rychlosti nést, pak je již množství odnosu konstantní. (JANEČEK ET AL. 2008)

Vzdálenost, po níž dosáhne odnos maxima, se mění s erodibilitou půdního povrchu. Čím je erodibilita půdního povrchu větší, tím je dosaženo vyšší hodnoty odnosu na kratší vzdálenost. (HOLÝ, 1994)

3.4.3 Morfologie území

Morfologie území působí na hloubku zvětrávání, kdy přímý spád svahu a okolní reliéf má vliv na odtékání vody a proto i vyluhování. (CHARMAN, 2001)

Vodní eroze je podmíněna povrchovým odtokem po skloněném území. Stékající voda nabývá se zvětšováním sklonu a délky svahu (za předpokladu trvání deště) vyšší rychlosti a tangenciálního napětí, což má za následek větší destrukční účinek na půdní povrch a schopnost transportovat uvolněné půdní částice. Intenzita erozních procesů se obvykle snižuje se zmenšováním sklonu, až dojde k poklesu rychlosti a tangenciálního napětí do té míry, že nastane usazování půdních částic transportovaných po povrchu území. Z průběhu erozních procesů vyplývá, že vodní erozí jsou nejvíce postiženy oblasti s členitým reliéfem, který napomáhá soustředování povrchově stékající vody a rychlejšímu odtoku. Morfologie území má vliv i na větrnou erozi, na jejíž intenzitu působí i expozice území vůči převládajícím větrům a forma reliéfu území. (HOLÝ, 1994)

Přímý svah

Nejednodušším typem svahu je ten, který má po celé délce stejný sklon. Na takovémto svahu se erozní účinek neustále zvětšuje po celé délce, kdy dochází k akumulaci a soustředění odtékající vody. (TOY ET AL. 2002)

Vydutý svah

Horní část lze rozdělit na dva úseky. Úsek při rozvodí má poměrně malý sklon, který se v níže ležícím úseku prudce zvětšuje a dosahuje nejvyšší hodnoty. Sklon poskytuje možnost plného rozvinutí erozních procesů. S maximální hodnotou sklonu se však

nestřetává maximální délka svahu. Ve střední části svahu se sklon zmírňuje, délka se zvětšuje. O intenzitě erozního procesu rozhoduje poměr mezi poklesem sklonu a růstem délky svahu. V dolní části svahu se sklon zmírňuje natolik, že i přes maximální délku svahu dochází obvykle k ukládání materiálu.

Vypuklý svah

Ve své horní části má poměrně malý sklon a zároveň malou vzdálenost od rozvodí; je vzhledem k ostatním částem svahu zatěžován malým množstvím stékající vody. Sklon ani délka neskýtají možnost plného rozvinutí erozních procesů. Na střední části vzrůstá sklon i délka svahu. Nejvyšší hodnoty dosahuje sklon i délka v dolní části svahu, v níž dochází k maximální intenzitě erozních procesů.

Vypuklo-vydutý svah

Má ve své horní části poměrně malý sklon, který se zvětšuje ve střední části svahu, v níž dosahuje maxima. Zde se mění vypuklý tvar ve vydutý, přičemž se s prodlužováním zmenšuje sklon. Maximální intenzitu erozních procesů lze očekávat ve střední části svahu.

Stupňovitý svah

Na stupňovitém svahu dochází s prodlužováním ke střídavému růstu a poklesu sklonu. Podle předpokládaného průběhu erozního procesu v dílčích částech svahu se neustále mění intenzita erozních procesů. (HOLÝ, 1978)

3.4.4 Geologické a půdní poměry

Geologické poměry území

Geologické poměry území a vlastnosti půdy mají vliv na odolnost půdy vůči erozi a tím i na intenzitu erozních procesů.

Působení geologických poměrů na vznik a průběh eroze se uplatňuje přímo a to odolností obnaženého geologického podkladu vystaveného styku s tekoucí vodou a ovzduším, a nepřímo působením na svahu půdního substrátu, jehož vlastnosti jsou dány druhem geologického podkladu.

Přímý vliv geologického podkladu se projevuje zejména v místech, v nichž snadno větrající podložní hornina vystupuje těsně k povrchu území a je obnažena různými

formami výmolné vodní eroze nebo větrnou erozí. Potom obvykle dochází k rychlému rozrušování této horniny a ke vzniku rýh, výmolů a strží, které se postupně rozšiřují a prohlubují.

Nepřímý vliv geologického podkladu se projevuje ve vlastnostech půdotvorného substrátu, který podmiňuje význačné vlastnosti půd, zejména strukturu a obsah minerálních a chemických látek, jež spolu s organickými substancemi usměřují půdotvorné procesy. Vzniklé půdy se vyznačují různou odolností vůči působení povrchově tekoucí vody a větru. (HOLÝ, 1994)

Půdní poměry

Půdní poměry jsou souhrnem jednotlivých vlastností půdy. Projevují se vlivem na velikosti infiltrace srážkové vody, jejím časovém průběhu, odolnosti povrchu půdy vůči účinku dešťových kapek a povrchově stékající vody.

Infiltrační schopnost půdy ovlivňuje podstatnou měrou vznik a průběh povrchového odtoku. V průběhu deště se prostory mezi půdními zrny postupně plní vodou a infiltrace se snižuje, až dosáhne konstantní hodnoty. V takovém případě odpovídá infiltrační kapacita půdy teoreticky nasycené hydraulické vodivosti.

Infiltrace srážkové vody do půdy závisí na půdních vlastnostech. Rozhodující je textura a struktura půdy, její vlhkost a zvrstvení. Pro odolnost půdy vůči vodní a větrné erozi je rozhodující obsah humusu a nasycenost sorpčního komplexu.

Při zkoumání vlivu půdní textury na erozní procesy se prokázalo, že k erozi jsou nejméně náchylné písčité půdy, vyznačující se (ve srovnání s ostatními druhy půd) velkou propustností. Na druhé místo lze řadit jílovité půdy, které jsou sice málo propustné, ale vzhledem ke značnému obsahu koloidních částic v mírně vlhkém stavu se vyznačují vysokým stupněm soudržnosti. Následují hlinité půdy, jež se vyznačují střední propustností a značnou nesoudržností, způsobenou velkým podílem prachových částic. Nejméně příznivé vlastnosti mají nehumózní spraše a sprašové hlíny s nedostatkem tmelících koloidních částic. Jejich disperzita se zvyšuje vyluhováním, jímž se ztrácí poslední složka vazby, zejména CaCO_3 a humus.

Půdní struktura, jež je dána vzájemným uspořádáním a vazbou půdních částic, určuje obsah nekapilárních pórů v půdě a stabilitu půdních agregátů. Půdy s příznivě vyvinutou strukturou přijímají lépe srážkovou vodu a lépe vzdorují destrukční činnosti povrchově stékající vody a větru než půdy, u nichž není struktura vyvinuta v dostatečné míře. Příznivý vliv struktury se projevuje nejvýrazněji u půd s drobtovitou strukturou, které

propouštějí nekapilárními póry srážkovou vodu do hlubších vrstev a zároveň poutají její značnou část v kapilárních pórech drobtů, přitom je zabezpečena příznivá vlhkost, a tím i soudržnost půdy. HOLÝ (1994) uvádí, že půda s drobtovitou strukturou přijímá až 85 % srážkové vody, kdežto půda s prašnou strukturou (za vlhkého stavu) pouze 30 %. K vytvoření a udržení drobtovité struktury jsou zapotřebí příznivé fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy mající vliv na přítomnost minerálních a koloidních substancí, zejména na obsah účinného humusu.

Textura a struktura půdy jsou charakteristické pro půdní typy, které mohou být určitým ukazatelem náchylnosti půd k erozi, ta se však nedá spolehlivě určit bez uvážení dalších erozních činitelů. Šetření ukazují, že za stejných podmínek vzdorují erozi nejlépe černozemě, charakterizované příznivou drobtovitou strukturou a značnou soudržností, méně hnědozemě, obvykle s nedostatečně vyvinutou strukturou a malou soudržností, a nejméně podzoly s charakteristickou prašnou strukturou a nesoudržností půdních částic. Intenzita vodní a větrné eroze závisí na vlhkosti půdy, která má vliv na hodnotu odtokového součinitele a zároveň působí výrazně na soudržnost částic. Optimální odolnost půdních agregátů je při vyšší vlhkosti, při níž se tvoří nejpříznivější struktura. (HOLÝ, 1994)

3.4.5 Vegetační kryt

Vegetace poskytuje ochranný kryt, kdy tvoří přirozenou hranici mezi atmosférou a půdou, přímo tak ovlivňuje způsob, jakým se voda přemístí do půdy. Na proces a rozsah půdní eroze má vliv zejména průtoková rychlost a míra jejího působení. Mechanicky vegetace chrání a zvyšuje pevnost půdy ve které roste, a tak přispívá k její stabilitě. (CHARMAN, 2001)

Vlivy vegetace

Ochrana půdního povrchu před přímým dopadem dešťových kapek

Rostlinný porost účinně chrání půdu před přímým dopadem kapek vody. Vegetace zachytí dopadající kapky, tím se sníží výška dopadu na půdní povrch, a tedy i síla jejich energie nárazu. Snížení energie nárazu má pak zásadní vliv na rozbití půdních částíček, a tak i jejich snazší následný odnos. Ochranný vliv vegetace působí na množství infiltrované vody do půdy a preventivně působí před vznikem půdní povrchové krusty. Maximálního ochranného účinku dosáhneme jakmile vegetace chrání více než 70 % celého povrchu půdy. (CHARMAN, 2001)

Zlepšení vsaku a obohacení půdy o organické látky

Schopnost většího vsaku je způsobena zlepšením půdních vlastností, neboť vegetace obohacuje půdu o organické látky. Dusík způsobuje pohyb některých látek důležitých pro příznivé vlastnosti půd z hlubších neúčinných vrstev k povrchu půdy, provzdušuje půdu a vyvolává zvýšenou mikrobiální činnost. To vše má vliv na vytváření příznivé půdní struktury.

Zastiňovací účinek

Vegetace zmenšuje výpar vody z půdy a uchovává její příznivý vlhkostní stav, což má výrazný vliv na stabilitu půdních agregátů.

Mechanické zpevnění půdy kořenovým systémem

Důležitá je hustota kořenového systému a hloubka dosahu jeho převážné části v půdním profilu.

Ochrana půdy při pošlapu

Rostlinný porost chrání půdu při pošlapání lidmi nebo zvířaty. (HOLÝ, 1994)

3.4.6 Způsoby užívání půdy

Způsob užívání půdy má hlavní význam pro hospodaření a správu daného pozemku či území a může být jedním z nejvýznamnějších faktorů ovlivňující vznik a velikost eroze půdy. (TOY ET AL. 2002)

Eroze mívá největší intenzitu na půdách, na nichž byl porušen původní porost, tedy převážně na zemědělských půdách zbavených porostu z různých důvodů (výstavba sídlišť, komunikací, výcvikových prostorů apod.). Každý zásah do přirozeného vegetačního krytu půdního povrchu je nutno posuzovat z hlediska možných dalších důsledků, vyúsťujících obvykle v intenzivní erozní procesy.

Významné jsou také hospodářskotechnické poměry, ty záleží především na způsobu obhospodařování půdy, na volbě a polohovém rozmístění kultur, na jejich zařazení do vhodného osevního postupu a na provedení různých technických zásahů. Jsou důležitým činitelem, který může v kladném i záporném smyslu ovlivnit intenzitu erozních procesů. (HOLÝ, 1994)

3.5 Druhy eroze

3.5.1 Druhy eroze podle činitele

Podle činitele, který způsobuje vznik a působí na průběh erozních procesů rozeznáváme:

- vodní erozi
- ledovcovou erozi
- sněhovou erozi
- větrnou erozi
- zemní erozi
- antropogenní erozi

Vodní eroze

Vodní eroze je dominantní geomorfologický proces modelující zemský povrch. Zahrnuje procesy odloučení, pohlcení, odnos a uložení půdních částic. Hlavní silou, která řídí tyto procesy je smykové napětí, které se vytvoří při nárazu dešťové kapky na půdu nebo při následném povrchovém odtoku. Povrchový odtok vzniká z přívalových nebo dlouhotrvajících srážek, ze sněhových vod při tání, nebo také koncentrací vody v přirozené i umělé hydrografické síti. Dojde-li při nárazu kapky nebo následném povrchovém odtoku k odloučení částic a odnosu, můžeme je zpravidla posuzovat již jako sediment. Proces transportu částic končí až s poklesem unášecí síly povrchového odtoku, kdy dochází k akumulaci, tedy hromadění erodovaných půdních částic. Velikost vodní eroze a sedimentace určuje čtveřice faktorů jsou to: klima, půda (půdní vlastnosti), morfologie území a způsob užívání půdy. (TOY ET AL. 2002; DERPSCH, 2004)

Ledovcová eroze

Ledovcovou erozi způsobují ledovce pohybující se působením tíže do údolí. Při pohybu vynakládá ledovec převážnou část energie na erodování skalního podloží, které obrušuje a vyhlazuje, případně rýhuje valouny zamrzými v ledu. Ledovec strhuje a unáší do nižších poloh velké množství horninových zvětralin, jež po uložení vytvářejí morény. Podle způsobu dopravy vznikají: sutě na povrchu ledovce morény svrchní, při okrajích ledovce morény boční a při dně ledovce morény spodní. Setkají-li se dva ledovcové proudy, spojí se jejich boční morény v morénu střední. U paty ledovce se

vytváří obloukovitá moréna čelní. Materiál morén se s tající vodou z ledovců dostává do vodních toků, v nichž tvoří významný podíl splavenin. (HOLÝ, 1994)

Ledovcová eroze převládá v chladných oblastech, kde průměrná teplota nepřekračuje hodnotu 0°C. Zvláštním znakem ledovcové eroze je především účinek ledové masy, která se pohybuje (posunuje) velice pomalu. Proti takovéto enormní síle ochranné opatření v podobě vegetace (vegetace poskytuje účinné ochranné opatření proti vodní a větrné erozi) nemá praktický žádný význam. (ZACHAR, 1970)

Sněhová eroze

Sněhová (nivální) eroze vzniká pohybem sněhu ve formě lavin, jejichž erozní činnost probíhá při velkých tlacích a rychlostech sněhu. Často devastuje zasažený pás území. Sněhová eroze může být vyvolána i pomalým pohybem vrstvy sněhu po neumrzlém půdním povrchu při jarním tání. Projevuje se zejména v podhorských oblastech. (HOLÝ, 1994)

JANEČEK ET AL. (2008) sněhovou erozi nevztahuje k pohybu samotného sněhu, ale popisuje zejména erozní účinky roztávajícího sněhu. Sněhová eroze se značně liší od eroze dešťové např. tím, že kinetická energie, kterou působí sněhové srážky při dopadu na povrch půdy je zcela zanedbatelná a všechna energie pochází pouze z odtékající vody. Voda zůstává v zimě stát na povrchu půdy nebo přeřinuje po jejím povrchu. Erozní působení z tajícího sněhu je o to intenzivnější, že v relativně krátkém čase může dojít k rychlému odtoku velkého množství vody se značnou potenciální transportní kapacitou. U zmrzlých půd je infiltrační kapacita půdy závislá na půdní vlhkosti na začátku promrzání a na tom, jak často se opakuje perioda tání a promrzání. Během tání může voda zaplnit póry v ještě promrzlém profilu a tím, že zmrzne, bránit infiltraci. Na jedné straně menší kinetická energie sněhových srážek, na straně druhé chybějící vegetační pokrývka a půda nasycená vodou. Půda tedy není rozrušována dopadajícími kapkami jako při přívalových deštích, povrchový odtok je však mnohem vyšší a má větší transportní kapacitu, než by měl při srovnatelných letních srážkách. Ta ale není plně využita, protože půda může být erodována jen v té části půdního profilu, která už není promrzlá. Když nastane tání sněhu s vysokou transportní kapacitou odtoku, je odnos zpočátku brzděn promrznutím půdy. To vede k vytváření širokých a plochých rýžek, které se postupně zařezávají do tající půdy. S rostoucím povrchovým odtokem a rozmrazáním půdy se formy prohlubují až do hlubokých rýh s kolmými strmými stěnami. V této fázi je eroze dána pouze transportní kapacitou odtékající vody. Rýžky a rýhy se spojují, tím získávají na hloubce a šířce a přestávají být ovlivňovány mikrorelieфом; to

znamená, že jsou ovlivňovány pouze maximálním sklonem a může dojít k vytvoření strží hluboce zaříznutých do profilu. Na úpatí se změny v široké ploché rýhy, které končí rozsáhlými sedimentačními zónami nebo ústí do zatravněných pásů příkopů. (JANEČEK ET AL. 2008)

Větrná eroze

Větrná eroze spočívá v rozrušování půdní hmoty kinetickou energií větru, v přemísťování uvolněných částic a jejich ukládání při poklesu energie vzdušného proudu. Vyskytuje se především na území, kde je počasí charakterizováno nízkými a proměnlivými srážkami, proměnlivou a vysokou rychlostí větru, častým výskytem sucha, rychlými a extrémními změnami teploty a vysokým výparem, tzn. v aridních oblastech. Její výskyt byl zaznamenán převážně tam, kde je půda bez rostlinstva, nebo kde je rostlinná pokrývka jen slabě vyvinuta. (DUFKOVÁ ET TOMAN, 2004)

Procesem větrné eroze jsou na zemědělské půdě způsobeny škody odnosem ornice, hnojiv, osiv a ničením plodin. Další škody vznikají zanášením komunikací, vodních toků a jiných objektů, včetně znečišťování ovzduší, neboť nejjemnější půdní částice se větrem dostávají do ovzduší a mohou být příčinou vzniku tzv. prašných bouří. Jemný prach pak vniká do místností, vyvolává plicní onemocnění a vyřazuje z provozu stroje. (JANEČEK ET AL. 2002)

Zemní eroze

Zemní erozí se nazývá erozní činnost suťových proudů, která je tvořena suťovým materiálem prosyceným vodou. Při svém pohybu do údolí rozrušují suťové proudy půdu i její podklad a vytvářejí hluboké rýhy. Materiál suťových proudů ohrožuje údolní polohy, osady, komunikace, technické stavby apod.

Antropogenní eroze

Člověk má vliv na vznik a průběh erozních procesů svými zásahy do přírody. Je výrazným činitelem při vzniku zrychlené eroze a na erozní procesy působí nepřímo i přímo. Nepřímý vliv se projevuje ničením přirozeného vegetačního krytu půdy a jeho nahrazením vegetací s nízkým ochranným účinkem, zhoršením fyzikálních, chemických i biologických vlastností půdy, soustředěním povrchového odtoku různými úpravami území a znečištěním půdy odpady. Přímý vliv se projevuje zejména realizací technických staveb a urbanizací. Mezi nejvýznačnější druhy antropogenní eroze patří

eroze vyvolaná intenzifikací zemědělské výroby, výstavbou komunikací a urbanizací. (HOLÝ, 1994)

3.5.2 Druhy eroze podle intenzity

Podle intenzity rozlišujeme erozi normální a abnormální neboli zrychlenou. Intenzita eroze se obvykle vyjadřuje odnosem půdy v hmotnostních nebo objemových jednotkách z jednotky plochy za jednotku času.

Normální eroze

Normální eroze často nazývána jako geologická eroze vzniká při působení přirozených (normálních) podmínek prostředí, kdy nedochází k výraznému narušení. Při normální erozi jsou půdní vlastnosti a půdní profil obvykle vyvinuty a blíží se podmínce rovnováhy, proto plně vyvinutý půdní profil může být někdy brán jako důkaz, že eroze působí v přirozeném poměru. Samozřejmě je možné, že nadměrná eroze může nastat i při působení přirozených událostí, které však působí v neúměrné míře. Příkladem mohou být přívalové deště, oheň, nebo porušení vegetačního krytu a kompaktnosti půdy vlivem zvěře. (TOY ET AL. 2002)

Při normální erozi probíhají erozní procesy s malou intenzitou, ztráta půdních částic je doplňována tvorbou nových z půdního podkladů. Mocnost půdního profilu se nesnižuje, mění se pouze zrnitostní složení vrchního půdního horizontů, který se stává hrubozrnnějším. (HOLÝ, 1994)

Zrychlená eroze

Při narušení přírodních podmínek (disturbanci), může nastat zrychlená vodní a větrná eroze. Při tomto procesu dochází k nadměrnému smyvu půdy, kdy její náhrada pedogenezí z půdního podkladu je nedostatečná. Skutečnost, že dochází na pozemku k nadměrné erozi se může poznat podle několika základních znaků: půda bývá rozbrázděna drobnými rýhami a stružkami, dochází k odkrytí spodních geologických vrstev, prudce se snižuje výnosnost pěstovaných plodin, snižuje se akumulací prostor rybníků, nádrží a jezer v důsledku ukládání sedimentu, dochází ke kontaminaci okolí vlivem transportovaných chemických látek používaných v zemědělství. (TOY ET AL. 2002)

Nadměrné soustředění sedimentu a chemikálií může nepříznivě ovlivnit vodní faunu a flóru.

3.5.3 Formy povrchové vodní eroze

Vodní eroze spočívá v rozrušování zemského povrchu dešťovými kapkami a povrchovým odtokem. Podle formy se dělí na erozi: plošnou, výmolnou a proudovou.

Plošná eroze

Při plošné erozi je půda erodována téměř po celé ploše pozemku nebo určité části svahu. Čím je plocha svahu rovnější, tím jsou podmínky pro soustředování vody menší. Avšak i dokonale urovnaný povrch nemůže zabránit soustředování vody na svahu do rýžek, a proto se dá plošná eroze těžko oddělit od výmolné. Působením plošné eroze se profil půdy postupně snižuje v některých případech až na skalní podloží. První fází plošné eroze je kapková eroze, kterou vznikají v půdě drobné jamky. Další fází je eroze, která probíhá při pohybu vody po nakloněné ploše půdního povrchu, kdy při malé kinetické energii jsou vyplavovány nejjemnější půdní částice, a proto má silný výběrový (selektivní) účinek. Tím se na povrchu tvoří hrubozrnná vrstva skeletu (tzv. kamenná dlažba), která současně chrání půdu před rozrušujícím účinkem dopadajících kapek a smyvem. (JANEČEK ET AL. 2008)

HOLÝ, (1994) první fáze plošné eroze popisuje jako erozi selektivní, při níž povrchový odtok odnáší jemné půdní částice a na ně vázané chemické látky. Dochází ke změně půdní textury a obsahu živin v půdě. Půdy podléhající selektivní erozi se stávají hrubozrnnějšími a mají výrazně snížený obsah živin, naopak půdy obohacené smyvem jsou jemnozrnnější a bohaté na živiny. Selektivní eroze probíhá zvolna, často nepozorovaně, a nezanechává viditelné stopy. Lze ji zjistit z jemného materiálu akumulovaného v dolních částech svahu po přivalovém dešti. Často jsou jemným materiálem zaneseny příkopy i komunikace.

Selektivní plošná vodní eroze způsobuje nestejněměrný vývoj vegetace, projevující se rozdílným růstem, barvou ale i kvalitou. Tyto odlišnosti je možné pozorovat ve výše položených částech svahu, kde došlo ke smyvu jemných částic na rozdíl od dolní části svahu, v níž došlo k akumulaci smytého materiálu. Spolehlivě lze výskyt selektivní eroze zjistit texturálním rozbořem půdy a stanovením změny obsahu živin v průběhu svahu. (HOLÝ, 1994)



Obr. č. 1 Schéma plošné eroze. Originál IIRR, (2010)

Výmolná eroze

Výmolná vodní eroze vzniká soustředováním povrchově stékající vody, která vyrývá v půdním povrchu mělké zářezy, jenž se postupně prohlubují. Prvním stádiem výmolné vodní eroze je eroze rýžková a brázdová. Při rýžkové erozi vznikají v půdním povrchu drobné úzké zářezy, které vytvářejí na postiženém svahu hustou síť. Brázdová eroze se vyznačuje mělkými širšími zářezy, jejichž hustota na svahu je menší než u eroze rýžkové. Vzhledem k tomu že rýžková a brázdová eroze postihuje obvykle velkou část povrchu svahu, který rozrušuje na celé ploše, označuje se často jako nejvyšší stupeň plošné eroze. Následně z rýžek a brázd vznikají pokračujícím soustředováním povrchově stékající vody hlubší rýhy, které se směrem po svahu postupně spojují a prohlubují, a tak vznikají erozní rýhy různé velikosti a tvaru. Podle tvaru příčného profilu můžeme rozeznávat ploché, úzké, široké a oblé. Rýhová eroze přechází ve vyšší stupeň erozi výmolnou a ta v nebezpečnou, území devastující erozi stržovou. Jsou-li v takto postiženém území podorniční půdní vrstvy a zejména je-li geologické podloží odolnější proti účinkům vody než vrchní vrstvy, vznikají výmoly a strže s příčným profilem ve tvaru písmene V s různým sklonem svahů. Naopak v území se stejně odolnými vrstvami v celém profilu, příkladem mohou být aluviální hlíny nebo mocné sprašové navátiny, se tvoří výmoly a strže s přímými až svislými stěnami, kdy příčný profil připomíná tvar písmene U. Ve srovnání s trvalými vodními koryty, která mají poměrně mírný a rovnoměrný podélný profil, jsou výmoly a strže charakterizovány výrazným zhlavím a náhlými změnami sklonu. Jsou také obvykle hlubší, užší a voda v nich nese velké množství splavenin. Často mají také nepravidelné průtokové poměry, takže vztah mezi průtokem splavenin a průtokem vody není jednoznačný. Výmoly a

strže mohou zasahovat do podzemních vodonosných horizontů, z nichž odvádějí vodu, čímž snižují hladinu podzemní vody a vysušují okolní území. (HOLÝ, 1994)



Obr. č. 2 Schéma výmolné eroze. Originál IIRR, (2010)

Proudová eroze

Proudová vodní eroze probíhá ve vodních tocích působením vodního proudu. Podle způsobu rozrušování můžeme proudovou erozi rozlišit na dnovou (rozrušováno je pouze dno) a břehovou (rozrušovány jsou břehy). Dnová eroze je formou podélné eroze, probíhající ve směru podélné osy toku, naopak břehová je formou eroze příčné probíhající kolmo na osu toku. (HOLÝ, 1994)

Nejvýrazněji se projevuje proudová eroze v bystřinách vznikající v horských polohách s příkrými svahy, na kterých se při nedostatečném vegetačním krytu rychle vytvářejí velké srážkové odtoky. Výsledkem jsou bystřiny – poměrně krátké horské toky zaříznuté ve dně hlubokých a úzkých střížích s velkým podélným sklonem a mimořádným kolísáním průtoku. Za bezdeští i zcela vysychají, kdežto po prudkých deštích a tání sněhu se rychle rozvodňují a odnášejí velké množství zeminy a horninových zvětralin, kterými pak zanášejí údolí.

Dalším druhem proudové eroze je eroze říční objevující se v nížinných tocích, která se projevuje prohlubováním řečišť, podemíláním břehů a svahovými sesuvy. Je účinná zejména za průtoků velkých vod a v úsecích s větším podélným sklonem a prudším proudem. (FÍDLER ET JŮVA, 1983) Menší plocha povodí vodního toku a zhoršené podmínky odtoku zvyšují kolísání erozní intenzity. (ZACHAR, 1970)

3.5.4 Podpovrchová vodní eroze

Srážková voda působí erozně nejen při povrchovém, ale i podpovrchovém odtoku. Tímto způsobem vzniká vnitropůdní eroze, při které dochází k přemísťování půdních částic a živin z vrchních vnitropůdních horizontů do nižších, a to v důsledku působení infiltrující srážkové vody. (HOLÝ, 1994)

ZACHAR, (1970) pojmem podpovrchová eroze rozumí mechanické vyplavování jemných, různě dispergovaných frakcí půdy gravitační vodou mezi agregáty, přispívající ke skeletizaci půdy. V horských oblastech bývá tento proces vertikálního přemísťování půdních částic do spodiny zvětralinového pláště nazýván interskeletovitou erozí, při níž se půdní vrstva kryjící suť postupně snižuje. V České republice je touto erozí ohroženo 45,5 tis. ha, nejvíce v Krkonoších, ale i v Jeseníkách, Jizerských horách, na Šumavě a v Novohradských horách.

Tunelová eroze (sufoze), je specifická forma podzemní eroze, která byla poprvé objevena a popsána RICHTHOFEREM v Číně roku 1872. K jejímu vzniku dochází nejčastěji v oblastech, kde se akumulovaly spraše na nepropustném skalním podloží. Postupným narůstáním rozměrů tunelu za stálého ztenčováním stropu dochází ke snižování stability nadložních vrstev. Vymílání podpovrchových chodeb vodou nad nepropustným podložím v konečném stádiu vede v otevřené erozní rýhy, vzniklé probořením stropů. (ZACHAR, 1970; JANEČEK ET AL. 2002)

HOLÝ, (1994) tento podpovrchový proces neoznačuje jako erozní a naopak by jej řadil spíše k normálním půdotvorným procesům.

3.6 Predikce ohroženosti pozemků vodní erozí

Poznání zákonitosti vzniku a průběhu vodní eroze je tak jako při sledování všech přírodních procesů založeno na dlouhodobém terénním pozorování a laboratorních experimentech. Je tedy zcela logické, že vztahy kvantifikující vlivy jednotlivých erozních faktorů i intenzitu erozních jevů, mají svůj základ v analýze a zpracování časových řad a vedly v počátečním období výpočetních metod k odvození a používání tzv. empirických modelů erozního procesu. V polovině 70. let teoretický rozvoj v oblasti hydrauliky povrchového odtoku, infiltračních teorií, mechanismu erozních procesů atd. a v neposlední řadě i rozvoj výpočetní techniky umožnily přechod od empirických postupů k řešení erozního jevu jako dynamického procesu proměnného v prostoru a čase. Tento přístup vedl k prudkému rozvoji metod tzv. simulačních modelů, které na základě fyzikálního popisu všech zúčastněných procesů řeší průběh a

výslednou intenzitou erozních jevů. V současné době jsou empirické modely erozního procesu všeobecně hodnoceny jako postup, který již v podstatě v protierozní ochraně splnil svou úlohu. Pro jeho nahrazení kvalitativně vyššími metodami hovoří nejen současná úroveň znalostí o mechanismu erozních a transportních procesů a teoretický rozvoj v oborech, které srážkoodtokové a erozní procesy ovlivňují, ale i rozvoj výpočetní techniky a informačních technologií včetně možnosti využití GIS. (JANEČEK ET AL. 2002)

3.6.1 Empirické modely

Empirické modely vycházejí z analýzy a statistického vyhodnocení dlouhodobého experimentálního sledování (měření v terénu) vlivu jednotlivých erozních faktorů na erozi. Jejich výhodou je jednoduchost, rychlost a přehlednost výpočtu. (KLIMENT ET LANGHAMMER, 2005) Erozní proces se vyjadřuje obvykle vztahem mezi jeho výslednou intenzitou danou hmotnostním nebo objemovým množstvím ztráty půdních částic z jednotky plochy za určené časové období.

Empirické modely erozních procesů mají nevýhodu ve složitých vzájemných vazbách velkého množství působících činitelů, jejichž zjednodušení může vést ke snížení únosné meze přesnosti výpočtů. Další nevýhodou je jejich místní platnost, omezená na oblasti, v nichž byly vztahy odvozeny, popř. pouze na lokality s podobnými podmínkami. Použití empirických vztahů v jiných podmínkách vyžaduje úpravu zahrnující vliv místních činitelů. (HOLÝ, 1994)

USLE – Univerzální rovnice ztráty půdy

Zatím nejdokonalejší vyjádření kvantitativních účinků hlavních faktorů ovlivňujících vodní erozi způsobovanou přívalovými dešti je tzv. univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy z pozemků dle WISCHMEIERA a SMITHE. Použitím uvedené rovnice lze stanovit dlouhodobou průměrnou roční ztrátu půdy z pozemku vodní erozí. (JANEČEK ET AL. 2002) Pozemkem se v této souvislosti myslí plocha vymezená hydrologickými relevantními prvky (rozvodí, příkopy, vodní toky) s nepřerušovanou dráhou povrchového odtoku. Vypočtená ztráta se porovná s hodnotami přípustné ztráty. Toto srovnání dokáže upozornit na ty pozemky, u nichž dochází z dlouhodobého hlediska k větší ztrátě půdy než se dokáže v daném místě vytvořit přirozenými půdotvornými procesy, tedy ke ztrátě větší, než je přípustná. (SKLENIČKA, 2003)

Rovnice USLE je tedy navržena k tomu, aby předpovídala dlouhodobou průměrnou ztrátu půdy, která vzniká při plošné a výmolné erozi. Ve smyslu slova může být ztráta půdy chybné pojmenování, kdy přemístění půdy nebo také pohyb půdy jsou přesnější termíny. Erodující půda se nikdy neztrácí, často je pouze přemístěna z jedné vyšší části pozemku do jiné nižší, kde se ukládá, popřípadě v jiné situaci se může erodovaná půda dostat do potoků a řek. (WOLMAN, 1986)

Stávají se případy, kdy pamětníci a znalci místních poměrů označí za ohrožené pozemky jiné než ty, které byly zjištěny z univerzální rovnice. Přestože lze považovat podobné konzultace či místní šetření za nezastupitelné, je třeba si uvědomit, že pomocí univerzální rovnice se určuje průměrná dlouhodobá ztráta půdy erozí, která může být v některých letech překročena, v jiných letech může být naopak minimální. Tuto rovnici tedy nelze používat ke stanovení momentální (aktuální) eroze. (SKLENIČKA, 2003)

Tvar rovnice USLE je:

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

Kde:

G – průměrná dlouhodobá ztráta půdy ($t \cdot ha^{-1}$ za rok)

R – faktor erozní účinnosti deště – vyjádřený v závislosti na četnosti výskytu, úhrnu, intenzitě a kinetické energii deště

K – faktor erodovatelnosti půdy – vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a zrnitosti

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

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

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

P – faktor účinnosti protierozních opatření

Účinek jednotlivých členů rovnice na intenzitu erozního procesu byl stanoven na pozemku s přesně definovanými parametry; jeho délka byla 22,13 m, sklon 9 %, pozemek byl obdělávaný jako trvalý úhor ve směru sklonu.

RUSLE – Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy

Na základě zkušeností s používáním tzv. univerzální rovnice ztráty půdy (USLE), došlo v 90. letech k jejímu prověření, aktualizaci a úpravě. Tyto úpravy vedly k určitým změnám ve způsobu stanovení jednotlivých faktorů rovnice, a proto byla tato rovnice nazývána „revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy“.

RUSLE se stejně jako USLE používá pro predikci dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy vodní erozí faktory, které byly stanoveny na zemědělsky využívaných pozemcích ležících v klimatické oblasti daného typu, s daným druhem půdy, o určitém sklonu a délce svahu, při určitém systému pěstování plodin, obdělávání půdy a uplatňování protierozních opatření. Lze ji aplikovat i pro území s nezemědělským využitím, např. na staveništích. RUSLE je nyní především v USA jedním z nejvyužívanějších prostředků pro uvedené účely, neboť vyhovuje inženýrsko i vědecko-výzkumným požadavkům. Její předností je jednoduchost, účelnost, rychlost výpočtu a možnost využití velkého množství v databázích uvedených údajů, zahrnující hlavní erozní faktory.

Na rozdíl od USLE vyžaduje RUSLE větší množství vstupních dat, což na jedné straně umožňuje přesnější popsání zájmové lokality a vede k přesnějším výsledkům, ale na druhé straně přináší problémy s možnostmi jejich získání. Výhodou modelu je také použití databází (zatím pouze pro území USA), které usnadňují a zpřesňují výpočet pomocí kombinací různých klimatických podmínek, vegetačního pokryvu a druhu agrotechnických operací. (JANEČEK ET AL. 2008)

U rovnice RUSLE byly pozměněny způsoby stanovení jednotlivých faktorů:

R faktor-revize a aktualizace existujících map isoerodent pro území USA, zpřesnění časového průběhu hodnot R faktoru v 15-ti denním intervalu, stanovení R faktoru v oblastech s malými sklony.

K faktor-určení časového průběhu hodnoty faktoru erodovatelnosti půdy v důsledku zhutňování povrchu půdy a rozpadu půdních agregátů srážkami a obhospodařováním, vzhledem k objemovým změnám vyvolaným mrznutím a táním; zahrnutí vlivu skeletu na povrchu půdy a v půdním profilu na propustnost půdy.

LS faktor-zavedení nového vztahu pro vliv délky a sklonu svahu, který uvažuje poměr rýžkové a mezirýžkové eroze, upřesnění hodnoty sklonu svahu pro stanovení ztráty půdy.

C faktor-zpřesnění faktoru pro hodnocení vlivu jednotlivých druhů zemědělských plodin a způsobu jejich pěstování pro nevyužívané půdy, pastviny, poškozené lesy, území s povrchovou těžbou surovin, staveniště a rekultivované plochy, včetně zahrnutí vlivu předchozího využití půdy, druhu vegetace, pokryvu půdy a drsnosti půdního povrchu, tak že se stanovuje SLR (soil-loss ratio) jako poměr ztráty půdy při aktuálních podmínkách hospodaření, ke ztrátě půdy za standardních podmínek. SLR se počítá pro každý interval ve kterém lze předpokládat konstantní podmínky (max. 15 dní). Každé z těchto hodnot je přiřazena příslušná část erozní účinnosti deště (EI) v tom kterém období.

P faktor-zpřesnění hodnoty P faktoru pro území zemědělsky využívané i nevyužívané, přehodnocení vlivu vrstevnicového obdělávání a terasování na snížení ztráty půdy.

Model RUSLE lze v ČR použít především pro určení dlouhodobé průměrné roční hodnoty ztráty půdy, návrh prvků protierozní ochrany včetně ověření jejich účinnosti prostřednictvím P faktoru, dále pro prognózu vodní eroze a omezení jejich dopadu. Pro určení ztráty půdy pomocí RUSLE na jakémkoli místě v ČR je však nutné definovat podmínky použití modelu, zejména pak ověření jeho vhodnosti pro danou lokalitu. Použití modelu pro projekční činnost je podmíněno vznikem „katalogu“ (se vstupy do podprogramů a databází) a úplným ověřením RUSLE pro oblast ČR. (JAKUBÍKOVÁ ET VÁŠKA, 2005)

3.6.2 Matematické simulační modely vodní eroze a transportu látek

Základem matematického simulačního modelu erozního procesu jsou rovnice kontinuity a pohybová rovnice pro povrchový odtok a půdní částice (splaveniny). Koncepce modelu dále vychází z definice eroze jako procesu uvolnění, transportu a ukládání půdních částic působením erozních činitelů, a je založena na fyzikálním popisu těchto dílčích procesů. Metoda využívá nejnovější poznatky z teorie mechanismu eroze, hydrauliky povrchového odtoku, infiltrace, výpočetní techniky a informačních technologií. (JANEČEK ET AL. 1998)

Z časového hlediska se simulační modely odtoku a eroze dělí na epizodní (simulace pro jednotlivý déšť) a kontinuální (simulace pro delší časové období), z plošného na modely pro svah (pozemek) a modely pro povodí. Výhodou simulačních modelů je především schopnost posuzovat velký počet scénářů využití a ochrany území pro různé návrhové hydrologické situace. (DOSTÁL ET AL. 2002)

Za hlavní přednosti simulačních modelů erozního procesu se ve srovnání s empirickými modely považují:

- fyzikální základ (fyzikální zákonitosti vzniku a vytváření povrchového odtoku, vzniku a průběhu procesů uvolňování, transportu a ukládání půdních částic, který umožňuje jejich univerzálnější použití a spolehlivější extrapolaci výsledků v různých podmínkách)
- teoreticky správnější reprezentaci erozního procesu, např. jeho rozdělením na procesy mezirýžkové a rýžkové eroze na odtokových plochách a jejich definování a zahrnutí do modelu jako dvou samostatných procesů
- přímé zahrnutí procesu eroze způsobeného soustředěným odtokem (výmolné a proudové eroze) a určení její intenzity
- přímé zahrnutí procesu ukládání transportovaných částic a určení jeho intenzity
- fyzikální základ modelu umožňuje do simulace zahrnout i transport znečišťujících látek vázaných na povrch půdních částic nebo rozpuštěných v povrchovém odtoku
- spolehlivější a přesnější řešení jednotlivých srážko-odtokových situací, které jsou ve většině případů rozhodující při řešení ekologických důsledků erozních procesů a pro návrh ochranných opatření v povodí
- možnost přesnější geometrické schematizace území vzhledem k nehomogenitě podmínek (půdní a vegetační poměry, využití půdního fondu, atd.) a pro vyjádření možnosti nerovnoměrného zasažení vyšetřované plochy deštěm
- možnost rychlého a poměrně levného vyšetření odtokových, erozních, transportních procesů v území pro velký počet scénářů využití a ochrany území v různých časových horizontech
- dokonalá grafická prezentace výsledků simulace, usnadňující jejich správnou interpretaci a využití pro další činnost

Simulační modely zvyšují nárok na rozsah a dostupnost vstupních dat a vyžadují alespoň předběžnou kalibraci modelu pro podmínky vyšetřovaného území. Současně kladou vyšší nároky na teoretickou znalost uživatelů a jejich schopnost pracovat s moderní výpočetní technikou a informačními technologiemi.

Aplikace simulačních modelů je v současnosti spojována s prostředky geografických informačních systémů pro přípravu vstupních podkladů řešení a prezentaci jeho výsledků. Toto spojení představuje moderní inženýrský nástroj, kterým lze účinně řešit

různé varianty využití a ochrany území a vytvořit dostatečné množství podkladů pro rozhodovací a projekční činnost v této oblasti. (JANEČEK ET AL. 2002)

V současné době existuje velké množství různých simulačních modelů, z nichž některé byly v ČR testovány a jsou k dispozici zkušenosti z jejich používání. Obecně lze konstatovat, že žádný simulační model není universálně použitelný. Vhodný model je vždy třeba zvolit s ohledem na účel a cíl, které mají být simulací procesů dosaženy. (DOSTÁL ET AL. 2002)

AGNPS (Agricultural NonPoint Source Pollution Model)

Je určen pro simulaci odtoku, eroze a transportu chemických látek (dusík, fosfor) z jednotlivé srážky v povodí do cca 200 km², které je homogenizováno sítí čtvercových elementů o velikosti 0,4-16 ha. Hydrologická část modelu je založena na využití metody odtokových křivek (CN), erozní část používá modifikaci univerzální rovnice ztráty půdy a transportní schopnost odtoku je vyjádřena upravenou rovnicí R.A.BAGNOLDA. Simulace transportu chemických látek se provádí pro látky rozpuštěné v povrchovém odtoku a absorbované na povrchu půdních částic. Je možné využít prostředků GIS pro přípravu vstupních dat. (JANEČEK ET AL. 1998)

ANSWERS (A Nonpoint Surface Watershed Environment Response Simulation)

Tento model je určený pro simulaci hydrologických a erozních procesů v zemědělsky využívaných malých povodích, s možností rozšíření pro sledování transportu chemických látek. Vychází z rozdělení povodí do systému homogenních plošných elementů čtvercového tvaru. Každý element je samostatnou jednotkou; jednotky jsou vzájemně svázány tak, že plošný i soustředěný povrchový odtok přechází z jednoho elementu do druhého ve směru sklonu svahu. Tento přístup umožňuje zahrnout do úvah vliv nehomogenity půdních a vegetačních poměrů v povodí, různého způsobu obhospodařování a vliv nerovnoměrného zasažení deštěm.

Model se skládá z hydrologického a erozního submodelu.

Hydrologický submodel- určuje pro návrhovou srážku hydrogram odtoku a celkový objem odtoku v uzávěrovém profilu povodí.

Erozní submodel- hodnotí erozní proces (ztrátu půdy) v jednotlivých elementech vyšetřovaného povodí a transport splavenin v uzávěrovém profilu. (HOLÝ, 1994)

CREAMS (Models for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems)

Model CREAMS je navržený k tomu, aby odhadoval množství sedimentu, pohyb chemických látek a odtok vody z malých zemědělsky obhospodařovaných povodí. Jeho základ vychází z faktorů rovnice USLE a dále ji rozšiřuje s ohledem na povrchový odtok, rýžkovou a rýhovou erozi, množství a densitu sedimentu a ukládání erodované půdy v povodí. (LAL, 1994)

Hodí se pro kvantitativní hodnocení vlivu zemědělských technologií na přírodní prostředí v území, které se vyznačuje jednotlivým způsobem využívání, relativně homogenními půdními poměry a rovnoměrným rozdělením srážek na celé ploše území. CREAMS se skládá ze tří složek: hydrologické, erozní a chemické. Erozní složka hodnotí erozní procesy a množství splavenin včetně rozdělení transportovaných půdních zrn podle zrnitostního složení na úpatí svahu. Model provádí porovnání množství částic uvolněných srážkami, povrchovým odtokem a transportní schopnosti tekoucí vody. (HOLÝ, 1994)

EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator)

Tento model je určen pro hodnocení vlivu erozních procesů (ztráty půdy) mající vliv na změnu půdních vlastností a úrodnost půdy. Model podrobně simuluje vývoj plodiny v závislosti na klimatických a hydrologických podmínkách a na probíhajících erozních procesech, dále může být simulován vliv pesticidů a podzemního drenážního systému. Vyšetřované území je charakterizováno prvkem plošného a soustředěného odtoku. Model je určen pro homogenní plochy do velikosti cca 1,0 ha. EPIC v hydrologické části vychází z hodnoty denního srážkového úhrnu, kdy využívá pro stanovení charakteristik povrchového odtoku metodu čísel odtokových křivek (CN) a v erozní části modifikaci univerzální rovnice ztráty půdy. Model jako jediný uvažuje vliv větrné eroze na úrodnost půdy. (JANEČEK ET AL. 1998)

EROSION 2D a EROSION 3D

Simulační model EROSION 3D byl vyvinut z verze modelu EROSION 2D, který řešil ztrátu půdy na svahu. Model EROSION 3D je schopen pracovat s plochou celého povodí a do svých výpočtů zahrnuje ztrátu půdy způsobenou plošným i soustředěným odtokem. Jako geometrický základ pro model EROSION 3D slouží pravidelná čtvercová síť. Tato struktura je nejběžněji používaná u digitálních modelů terénu a umožňuje dostatečné popsání povrchu území. (JANEČEK ET AL. 2008)

Modely EROSION jsou fyzikálně založené, mají uživatelsky orientované prostředí, pracují s minimálním počtem vstupních parametrů a jsou kompatibilní s běžnými systémy GIS. Modely jsou epizodní, ale lze je použít i pro řešení odtoku a eroze v krátkém období s několika srážkami. Model 3D, pracující v prostředí WINDOWS, je vybaven velmi kvalitními možnostmi grafické prezentace. Modely EROSION jsou v posledních letech využívány pro řešení praktických úloh v Německu, kde pro ně byl vytvořen katalog vstupních půdních dat. (DOSTÁL ET AL. 2002)

EUROSEM (EUROpean Soil Erosion Model)

EUROSEM je výsledkem společného evropského projektu, zaměřeného na vytvoření erozního modulu hydrologického modelu SHE (Systeme Hydrologique Européen). Model EUROSEM zahrnuje procesy uvolnění částic deštěm a transport povrchoým odtokem v tenké vrstvě. Rozšířená verze modelu zahrnuje dále procesy plošné, rýžkové a rýhové eroze. (JANEČEK ET AL. 1998)

SMODERP (Simulační Model Odtoku a Erozního Procesu)

Fyzikálně podložený model povrchového odtoku a erozních procesů vytvořený pro podmínky České republiky. SMODERP poskytuje podklady k hodnocení povrchového odtoku a erozních procesů za účelem návrhu protierozních opatření. Model simuluje povrchový odtok a erozní procesy z přívalových dešťů proměnné intenzity v území do velikosti 1 km². Morfologické, půdní a vegetační poměry mohou být proměnné. (HOLÝ, 1994)

Výstupem z modelu jsou:

- Charakteristiky povrchového odtoku (objem odtoku, kulminační průtok, rychlost a hloubka odtoku, tangenciální napětí) ve zvolených profilech svahu časových intervalech od počátku deště.
- Přípustná délka zemědělského pozemku ve směru sklonu, stanovená na základě krajního nevymílacího napětí a nevymílací rychlosti povrchového odtoku.
- Hodnota erozního smyvu

SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

SWAT je kontinuální časový model, který operuje s jednodenním časovým krokem navržený k tomu, aby předpovídal výpočet odtoku a ukládání sedimentu z povodí, kde převládá zemědělství. Model má fyzikální základ a jeho výpočetní účinnost spočívá i ve

schopnosti průběžné simulace v dlouhodobém časovém intervalu. Zadávanými vstupy do modelu jsou klimatické podmínky, hydrologické vlastnosti, teplota a vlastnosti půdy, vlastnosti růstu rostlin, hnojiva, pesticidy, bakterie případně patogeny a způsob obhospodařování půdy. Ve SWAT modelu může být velikost povodí až několik tisíc km^2 , s možností rozdělení nadřazeného povodí do několika rozmanitých subpovodí (i více jak 10 000 subpovodí). Jednou z dalších výhod je kompatibilita s geografickými informačními systémy GRASS a Arcview, které slouží k automatické přípravě vstupních dat a prostorovému zobrazení výstupů. (GASSMAN ET AL. 2007)

WEPP (Water Erosion Prediction Project)

Model zahájený v USA koncem osmdesátých let s cílem zvýšit univerzálnost modelů a nahradit empirické postupy v oblasti ochrany půdy a vodních zdrojů jednotnou metodikou na bázi simulačních modelů. Modely projektu WEPP jsou náročné z hlediska množství a kvality vstupních dat, z nichž většina je obsažena v databázích, které jsou přímou součástí modelu. Využití v České republice je podmíněno především vytvořením příslušných databází, odpovídajících našim podmínkám. (JANEČEK ET AL. 1998)

3.7 Přípustná mez eroze

Eroze by měla probíhat pouze s takovou intenzitou, aby způsobená ztráta půdy byla nahrazena přirozenou tvorbou nové. Vymezení rovnovážného stavu mezi tvorbou a ztrátou půdy bývá problematické, neboť tvorba nové půdy je tak pomalá, že tento proces se jen obtížně časově definuje. Za obvyklou dobu potřebnou na tvorbu nové půdy se udává hodnota 0,01-7,7 mm za rok, v průměru se tato hodnota pohybuje přibližně okolo 0,1 mm za rok. (HOLÝ, 1978; HOLÝ, 1994)

K posouzení míry erozního ohrožení pozemků slouží princip přípustné ztráty půdy, která je definována jako maximální hodnota ztráty půdy dovolující trvale a ekonomicky udržovat úrodnost půdy. Při určování mezí přípustné ztráty půdy se uvažovalo se skutečnou mocností půdního profilu, požadovanými vlastnostmi půdy v budoucnu a s předpokládanou ztrátou půdy. Obecně platí, že čím je půda erodovanější, tím je přípustná ztráta menší.

Při vyšetřování erozního ohrožení pozemku metodou USLE se posuzuje hodnota G průměrné dlouhodobé ztráty půdy s přípustnou ztrátou půdy vodní erozí. Používanými jednotkami jsou $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Ohroženými pozemky jsou ty, u kterých vypočtená

ztráta půdy překračuje hodnoty přípustných ztrát stanovených podle hloubky půdního profilu.

mělké půdy (do 30 cm)	-	1 t . ha ⁻¹ . rok ⁻¹
středně hluboké půdy (30-60 cm)	-	4 t . ha ⁻¹ . rok ⁻¹
hluboké půdy (nad 60 cm)	-	10 t . ha ⁻¹ . rok ⁻¹

Orientačně lze hloubku půdy zjistit podle bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). Hloubka půdy je v systému BPEJ vyjádřena 5. číslicí sdruženého kódu pro skeletovitost a hloubku půdy.

Pozemky s mělkými půdami s hloubkou do 30 cm by neměly být využívány pro polní výrobu a z hlediska zachování jejich trvalé úrodnosti se doporučuje jejich převedení do kategorie trvalých travních porostů. (JANEČEK ET AL. 2007)

3.8 Protierozní opatření

Půdu na svazích je třeba chránit před vodní erozí vhodnými protierozními opatřeními. O použití jednotlivých způsobů ochrany rozhoduje jejich účinnost, požadované snížení smyvu půdy a nutná ochrana objektů (vodních zdrojů, toků a nádrží, intravilánů měst a obcí atd.) při respektování zájmů vlastníků, ochrany přírody a životního prostředí. Ve většině případů jde o komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření, vzájemně se doplňujících a respektujících současné základní požadavky a možnosti. (JANEČEK ET AL. 2007)

Ve vyšetřovaném území se protierozní ochrana řeší ve variantách. Upřednostňuje se systém, který zajišťuje požadovaný stupeň protierozní ochrany a funkčnost protierozních opatření. Zároveň by také měl minimalizovat zábor půdy a být přijatelný z hlediska finančních nákladů na realizaci. Základní podmínkou pro splnění těchto požadavků je dokonalá znalost faktorů, způsobujících vznik a rozvoj erozních procesů v řešeném území. Obecně lze prohlásit, že účinný systém protierozní ochrany spočívá v přímé ochraně povrchu půdy před dopadem dešťových kapek. Musí udržovat povrchový odtok ve fázi plošného odtoku, aby nedocházelo k překračování přípustné délky svahu na pozemcích a byla stabilizována dráha přirozené koncentrace povrchového odtoku. Z ekonomického hlediska je nutno zvážit pravděpodobnost výskytu a dobu trvání návrhové srážky a při projekci protierozní ochrany postupovat od

finančně i realizačně nejjednodušších organizačních a agrotechnických opatření k opatřením technického charakteru. (VÁŠKA ET AL. 2000)

Při návrhu protierozní ochrany se vychází z průzkumu, jímž se získávají podklady k posouzení hydrologických poměrů území a stanovení jeho erozní ohroženosti. Pro optimalizaci protierozní ochrany se doporučuje využít variantního řešení a etapové realizace.

Návrh ochrany půdy před vodní erozí tvoří:

- a) vyhodnocení ohroženosti řešeného území
- b) návrh protierozních opatření
- c) posouzení návrhu z hlediska účinnosti protierozních opatření

Projekt a následná realizace protierozních opatření by vždy měly vycházet z odborně zpracovaných plánů pozemkových úprav respektujících základní principy ochrany půdy před erozí. (JANEČEK ET AL. 2008)

3.8.1 Organizační opatření

Základem organizačních protierozních opatření je situování pozemků delší stranou ve směru vrstevnic, zvolení vhodné velikosti a tvaru pozemku a vymezení parcel vhodných ke změně druhů pozemků. Organizační opatření často ovlivňují návrhy agrotechnických i stavebně technických postupů, a proto je vhodné sjednotit jejich součinnost. (HOLÝ, 1994; JANEČEK ET AL. 2007)

K opatřením organizačního charakteru se řadí:

- Delimitace kultur, zejména mezi lesem a zemědělskou půdou
- Ochranné zatravnění a zalesnění
- Protierozní oseední postupy
- Pásové střídání plodin
- Tvar a velikost pozemku, trasování polních cest

3.8.2 Agrotechnická opatření

Protierozní agrotechnická opatření se používají ke zlepšení vsakovací schopnosti půdy, zvýšení její protierozní odolnosti a k vytvoření ochrany povrchu půdy v období výskytu přívalových srážek. To se týká zejména širokořádkových plodin, které svým vzrůstem a stupněm zapojení nedostatečně kryjí půdu. Agrotechnická opatření spočívají ve volbě

speciálních nebo vhodně upravených mechanizačních prostředcích, snižujících možnost erozního procesu. (VÁŠKA ET AL. 2000)

K agrotechnickým opatřením se řadí:

- Protierozní orba, prováděná otočnými pluhy s obrácenými brázdy proti svahu
- Kultivace půdy prováděná radličkovými nebo rotačními kypřiči bez obracení půdy
- Bezorebné setí do nezpracované půdy speciálními secími stroji
- Hrázkování, důlkování a mulčování

Agrotechnické operace se při protierozní ochraně (orba, setí, kultivace, sklizňové operace) provádějí ve směru vrstevnic. Protierozní agrotechnika se uplatňuje také při obnově trvalých porostů a při ochraně půdy ve speciálních kulturách (sady, chmelnice).

3.8.3 Technická opatření

V případě, že nelze dosáhnout dostatečné protierozní ochrany organizačními a agrotechnickými opatřeními, je nutné použít technická protierozní opatření. Technické liniové prvky protierozní ochrany vytvářejí trvalou překážku přerušující zpravidla příliš velké délky svahů a omezující škodlivé působení povrchového odtoku. Jsou navrhovány i tak, aby svou lokalizací usměrňovaly směr obdělávání pozemků (vrstevnicové meze) a způsob hospodaření zemědělských subjektů. Vedle základní funkce (protierozní) mají spolu s doprovodnou zelení význam i z hlediska krajinně estetického a ekologického. (VÁŠKA ET AL. 2000; JANEČEK ET AL. 2007)

K technickým opatřením se řadí:

- Terénní urovnávky
- Terasování
- Protierozní příkopy
- Průlehy a vsakovací pásy
- Sedimentační pásy
- Zatravněné údolnice
- Protierozní hrázky
- Protierozní meze
- Úpravy erozních výmolů a strží
- Ochranné nádrže
- Polní cesty s protierozní funkcí

4. Charakteristika řešeného území

Zvolené povodí odvodňované Budňanským potokem se nachází ve Středočeském kraji, okres Beroun, přibližně 10 km jihozápadně od Prahy. Povodí je tvořeno především katastrálním územím Mořiny a Budňan. Jen nepatrně do něj zasahují katastrální hranice obcí Kozolupy, Bubovice, Mořinka a Hlasná Třebáň. Celá zvolená oblast je součástí Českého krasu, která byla roku 1972 vyhlášena jako Chráněná krajinná oblast. Všeobecně jde o významné území tvořené převážně prvohorními usazeninami (vápenci, břidlicemi) silurského a devonského stáří s četnými krasovými jevy včetně jeskyní patřících k největším v Čechách. Přes svou malou nadmořskou výšku, která se pohybuje od 208 m n. m. (hladina Berounky) do 428 m n. m., se zde vytvořil velmi pestrý členitý reliéf, zejména díky erozní činnosti, a tak údolí mají mnohdy výrazný kaňonovitý ráz. Rozloha povodí je 8,86 km², kdy z této rozlohy zabírají největší míru lesy 4,38 km². Ty jsou soustředěny zejména v okolí intravilánu obce Karlštejn. Poměrně významně je zastoupena i zemědělská půda, která se rozprostírá na ploše 3,35 km², zejména v severním a jižním směru od centra obce Mořina. Menší měrou ji však můžeme nalézt i v západní části povodí, kde tvoří podlouhlý cíp sevřený okolní lesní půdou. Louky a pastviny z celkové zemědělské půdy jsou zastoupeny jen nepatrně a jsou jednotlivě roztroušeny na celé ploše povodí. Za významný prvek i z hlediska krajinářského, můžeme považovat vodní plochy, které vznikly těžbou vápence. Jedná se o lomy Malá Amerika (Rešna), Velká Amerika, Kanada a Mexiko. I v současné době probíhá v oblasti kolem lomů těžba kvalitního vápence používaného zejména k odsiřování elektráren. I přes mírně nepříznivý vliv na životní prostředí, těžba v oblasti bude probíhat i do budoucna vzhledem k potřebám energetického a stavebního průmyslu. (LOMY MOŘINA, 2010)

4.1 Geomorfologické poměry

Geomorfologie CHKO Český kras, a tedy i povodí Budňanského potoka byla vytvořena z paleogenní pahorkatiny za výrazného přispění erozní činnosti řeky Berounky a jejích přítoků. Zejména krátké a málo vodnaté přítoky Berounky vytvořily údolí s nevyrovnaným spádem. Geomorfologii území také zásadně ovlivňují přítomné silurské a devonské vápence, na něž jsou vázány četné formy krasového reliéfu, které vtiskly krajině zvláštní ráz. Tvorbu krasovnění usnadnilo i množství poruch, které se staly místem soustředění vod a jejich korozního působení. Na poruchách a na jejich křížení se

vytvářely vertikální dutiny i hluboko pod erozní bází danou úrovní Berounky. Přes nepříznivé faktory dané geologickými podmínkami jsou v Českém krasu na první pohled patrné charakteristické krasové formy. Jsou to především kaňon Berounky a hluboká údolí charakteru krasových roklí. (CHKO ČESKÝ KRAS, 2010)

4.2 Geologické poměry

Geologický podklad území Českého krasu tvoří převážně vápencová souvrství tzv. pražské pánve. Jedná se o elipsovitě území, jehož delší osa sahá od Prahy až do koněpruské oblasti jižně od Berouna. V širším okolí Mořiny, jako i v ostatních částech Barrandienu jsou uložena ložiska vápenců na spodním devonu, s vysokým obsahem karbonátů. Náleží tak k prvohorním sedimentům centrálního segmentu pražské pánve, kdy sedimentace probíhala od ordoviku do středního devonu.

V mělkých prvohorních mořích vznikaly sedimenty převážně z drtí a úlomků schránek živočichů korálových útesů. Lomy v oblasti tzv. Velké Mořiny náleží do tektonicky velmi exponované oblasti, kde proběhlo intenzivní vrásnění vrstev sedimentů, jehož výsledkem jsou antiklinály a synklinály a směrné přesmyky regionálního významu. Zejména se jedná o antiklinálu Ameriky a Doutnáče a synklinálu Chlumu. Antiklinály jsou obvykle nesymetrické a díky tomu jsou dnes vrstvy značně ukloněné a často i svislé. Jižní křídlo bývá obvykle velmi strmé. Právě strmé uložení vrstev a tomu přizpůsobené metody dobývání, zapříčinily kaňonovité tvary zdejších lomů - Velká a Malá Amerika a další. Složitost geologické stavby je ještě násobena porušením příčnou tektonikou, kde často vznikalo zkrasovění, místy i s dutinami. V druhohorách byla celá širší oblast vystavena erozi a povrchovému zvětrání. V křídovém období zde sedimentovaly jezerní a mořské sedimenty, z nichž se zachovaly pouze reliktů nebo záteky hlín, písků, štěrků do tektonicky porušených a zkrasovělých partií vápenců. Později byl reliéf terénu zmlazen zářezem koryta Berounky a jejích přítoků, někde s akumulacemi terasových štěrků. Je možno říci, že popsaná složitá geologická stavba - různé druhy vápenců, tektonika i druhotné zkrasovění, tvoří tuto lokalitu přinejmenším z geologického hlediska pozoruhodnou. (LOMY MOŘINA, 2010; CHKO ČESKÝ KRAS, 2010)

4.3 Pedologické poměry

Půdní poměry oblasti jsou pestré. Klimazonálně patří území k oblasti s hnědozemním půdotvorným procesem. Vliv matečné horniny jako půdotvorného činitele je velmi silný. Na vápencích vznikají jednak rendziny nebo vápnitě hnědozemě, vyskytují se i zbytky fosilních půd vzniklých v tropickém třetihorním podnebí – terra rosa. Na říčních terasách jsou podzoly a na kyselých horninách (břidlice, křemence) hnědý ranker až málo vyvinuté hnědozemě. V omezeném rozsahu se vyskytují gleje. (CHKO ČESKÝ KRAS, 2010)

HPJ	Charakteristika půd
8	Černozemě modální a černozemě pelické, hnědozemě, luvizemě, popřípadě i kambizemě luvické, smyté, kde dochází ke kultivaci přechodného horizontu nebo substrátu na ploše větší než 50 %, na spraších, sprašových a svahových hlínách, středně těžké i těžší, převážně bez skeletu a ve vyšší sklonitosti
10	Hnědozemě modální včetně slabě oglejených na spraších, středně těžké s mírně těžší spodinou, bez skeletu, s příznivými vláhovými poměry až sušší
11	Hnědozemě modální včetně slabě oglejených na sprašových a soliflukčních hlínách (prachovicích), středně těžké s těžší spodinou, bez skeletu, s příznivými vlhkostními poměry
12	Hnědozemě modální, kambizemě modální a kambizemě luvické, všechny včetně slabě oglejených forem na svahových (polygenetických) hlínách, středně těžké s těžkou spodinou, až středně skeletovité, vododržné, ve spodině s místním převlhčením
18	Rendziny modální, rendziny kambické a rendziny vyluhované na vápencích a travertínech, středně těžké lehčí až těžké, slabě až středně skeletovité, méně vododržné
19	Pararendziny modální, kambické i vyluhované na opukách a tvrdých slínovcích nebo vápnitých svahových hlínách, středně těžké až těžké, slabě až středně skeletovité, s dobrým vláhovým režimem až krátkodobě převlhčené
20	Pelozemě modální, vyluhované a melanické, regozemě pelické, kambizemě pelické i pararendziny pelické, vždy na velmi těžkých substrátech, jílech, slínech, flyši, tercierních sedimentech a podobně, půdy s malou vodopropustností, převážně bez skeletu, ale i středně skeletovité, často i slabě oglejené
26	Kambizemě modální eubazické a mezobazické na břidlicích, převážně středně těžké, až středně skeletovité, s příznivými vláhovými poměry
27	Kambizemě modální eubazické až mezobazické na pískovcích, drobách, kulmu, brdském kambriu, flyši, zrnitostně lehké nebo středně těžké lehčí, s různou skeletovitostí, půdy výsušné
28	Kambizemě modální eubazické, kambizemě modální eutrofní na bazických a ultrabazických horninách a jejich tufech, převážně středně těžké, bez skeletu až středně skeletovité, s příznivými vlhkostními poměry, středně hluboké
38	Kambizemě litické, kambizemě modální, kambizemě rankerové a rankery modální na pevných substrátech bez rozlišení, v podorniči od 30 cm silně skeletovité nebo s pevnou horninou, slabě až středně skeletovité, zrnitostně však středně těžké až těžké, vzhledem k zrnitostnímu složení s lepší vododržností
40	Půdy se sklonitostí vyšší než 12 stupňů, kambizemě, rendziny, pararendziny, rankery, regozemě, černozemě, hnědozemě a další, zrnitostně středně těžké lehčí až lehké, s různou skeletovitostí, vláhově závislé na klimatu a expozici

Tab. č. 3 Charakteristika půd dle HPJ. Podle vyhlášky MZe č. 546/2002 Sb.

Pokročování tabulky ze strany 38.

41	Půdy se sklonitostí vyšší než 12 stupňů, kambizemě, rendziny, pararendziny, rankery, regozemě, černozemě, hnědozemě a další, zrnitostně středně těžké až velmi těžké s poněkud příznivějšími vláhovými poměry
56	Fluvizemě modální eubazické až mezobazické, fluvizemě kambické, koluvizemě modální na nivních uloženinách, často s podložím teras, středně těžké lehčí až středně těžké, zpravidla bez skeletu, vláhově příznivé
64	Gleje modální, stagnogleje modální a gleje fluvické na svahových hlínách, nivních uloženinách, jílovitých a slinitých materiálech, zkulturněné, s upraveným vodním režimem, středně těžké až velmi těžké, bez skeletu nebo slabě skeletovité
68	Gleje modální i modální zrašelinělé, gleje histické, černice glejové zrašelinělé na nivních uloženinách v okolí menších vodních toků, půdy úzkých depresí včetně svahů, obtížně vymežitelné, středně těžké až velmi těžké, nepříznivý vodní režim

Tab. č. 3 **Charakteristika půd dle HPJ.** Podle vyhlášky MZe č. 546/2002 Sb.

4.4 Klimatické poměry

Jádro Českého krasu i jeho západní část patří do oblasti mírně teplé, mírně suché s mírnou zimou, severovýchodní pražská část náleží do teplé a suché oblasti. Průměrná roční teplota činí 8–9°C, průměrný roční úhrn srážek dosahuje 530 mm. Srážkové maximum připadá na červenec. V zimních měsících jsou srážky minimální, sněhová pokrývka je nízká a vytrvává jen krátce. Díky pestrosti terénu a charakteru rostlinného pokryvu se zde výrazně uplatňují mikroklimatické vlivy. (CHKO ČESKÝ KRAS, 2010)

4.5 Hydrologie a charakteristika Budňanského potoka

V obci Mořina a jejím těsném okolí, na pruhu nekrasových srbských vrstev vzniká Budňanský potok soutokem několika větví. Největší prameniště má vydatnost 0,3 až 0,5 l.s⁻¹ a je v ose údolí pod objektem zemědělského družstva. V samotném intravilánu obce jsou další čtyři studně s přetokem při vydatnosti do 0,2 l.s⁻¹. Mezi Mořinou a Dubem sedmi bratří se postupně přidružuje ještě několik drobných pramenů s vydatností okolo 0,1 l.s⁻¹. Některé z nich jsou kontaminovány organickými látkami. Potok dále meandrovitě protéká sevřeným údolím obce Karlštejn a pod hradem vtéká do osady Budňany, kde se zčásti ztrácí v podloží. Znovu se objevuje až pod silnicí nedaleko řeky Berounky, kde se následně do ní vlévá. Bohužel i v současnosti je komunální znečištění Budňanského potoka stále velkým problémem. (KADLECOVÁ ET ŽÁK, 1998; ŠIMŮNEK, 2005)

4.6 Vegetační poměry

Flóru ovlivňují dva geobotanické fenomény říční a krasový. Vegetační pokryv mimo zemědělskou půdu tvoří především lesní listnatá společenstva. Základním původním typem na jižních svazích jsou dubohabřiny s příměsí lip, javorů a jeřábů. Na severních svazích převládají stínomilné bučiny. Vodní toky doprovázejí především olše, jasan a vrby. Z jehličnatých stromů jsou původní jen příměsi borovice lesní a jedle bělokoré. Porosty smrků a borovice černé jsou vysázeny uměle a plánuje se jejich postupná náhrada společenstvy z původních druhů dřevin.

Dalším vegetačním typem jsou lesostepi se zvláště chráněným dubem pýřitým, který je doplněn jeřáby mukem a břekem, zvláště chráněným dřínem obecným, svídou krvavou, hlohy a dalšími dřevinami, které přecházejí do travních stepních společenstev s velmi zajímavou a pestrou bylinnou vegetací. V posledních desetiletích je toto společenství ohroženo jasanem a nepůvodním akátem, které se šíří mimo jiné pravděpodobně v důsledku zvýšeného přísunu dusíku z ovzduší. (ŠIMŮNEK, 2005)

5. Metodika

5.1 Stanovení variant

Pro zjištění míry erozního ohrožení v povodí Budňanského potoka byly stanoveny následující varianty, které posuzují jak současný stav, tak i situace při nichž by došlo ke změně v hospodaření nebo vegetačního pokryvu.

Varianta č.1 - Současný stav

První varianta měla ověřit, zda je oblast povodí Budňanského potoka skutečně ohrožena vodní erozí, vzhledem ke klasifikaci serveru SOWAK GIS, který je spravován Výzkumným ústavem meliorací ochrany půdy. Na tomto serveru je zpracována mapa potenciální ohroženosti katastru vodní erozí, kdy půdy obce Mořiny jsou řazeny mezi silně ohrožené a Karlštejna dokonce mezi nejohroženější. Uváděné hodnoty průměrné dlouhodobé ztráty smyvu pro pozemky se nejčastěji pohybují mezi 8 až 10 t.ha⁻¹.rok⁻¹. Na druhou stranu, v zájmovém území se nachází i části pozemků přesahující ztrátu 30 a více t.ha⁻¹.rok⁻¹. (SOWAK GIS, 2010)

U první posuzované varianty byly řešeny současné zemědělsky využívané pozemky (jednotlivé pozemky odpovídají i mapám ze SOWAK), kdy pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy byly zjištěny tyto následující parametry:

Druh pokryvu	Jednotlivé faktory				
	R	K	LS	C	P
Orná půda	25	0.24 - 0.53	až 65	0.241	1
Louky a pastviny				0.005	

Tab. č. 4 Faktory pro výpočet současného stavu.

Poznámka: jednotlivé faktory včetně jejich způsobu určení budou stanoveny v této kapitole

Varianta č.2 – Aplikace protierozního osevního postupu

Ve druhé variantě bylo zjišťováno jak se projeví aplikace protierozního osevního postupu na výslednou ztrátu. V navrhovaném osevním postupu se zohlednila opatření, jak organizačního, tak i agrotechnického charakteru. Tato varianta má poukázat, které pozemky případně jejich části by měly být převedeny na trvalé travní porosty, případně jaká další protierozní opatření je potřeba ještě použít.

Plodina	Pěstební období	Trvání období	CxR		
			C	R	CxR
jetel		16.8 - 31.3	0.015	0.214	0.0032
jetel		1.4 - 31.8	0.015	0.925	0.0139
ozimá obilnina Op	1	1.9- 20.9	0.5	0.047	0.0233
	2	21.9 - 31.10	0.55	0.028	0.0156
	3	1.11 - 30.4	0.3	0.005	0.0015
	4	1.5 - 15.8	0.05	0.781	0.0390
	5p	16.8 - 20.9	0.04	0.186	0.0074
ozimá obilnina St	1	21.9 - 25.9	0.25	0.012	0.0029
	2	26.9 - 31.10	0.25	0.017	0.0042
	3	1.11 - 30.4	0.2	0.005	0.0010
	4	1.5 - 15.8	0.08	0.781	0.0625
	5p	16.8 - 20.8	0.04	0.044	0.0017
řepka St	1	21.8 - 25.8	0.25	0.044	0.0109
	2	26.8 - 30.9	0.25	0.122	0.0306
	3	1.10 - 30.4	0.2	0.010	0.0020
	4	1.5 - 20.7	0.08	0.536	0.0429
	5p	21.7 - 31.3	0.04	0.459	0.0183
jarní obilnina s podsevem jetele St	1	1.4 - 5.4	0.25	0.001	0.0002
	2	6.4- 10.5	0.25	0.036	0.0091
	3	11.5 - 10.6	0.2	0.144	0.0289
	4	11.6 - 15.8	0.08	0.604	0.0483
				5.000	0.3675
Průměrná roční hodnota C daného osevního postupu					0.073

Tab. č. 5 Navrhovaný protierozní osevní postup.

Poznámka:

5p-Sláma ponechána

Op- Setí do orné zoráné půdy

St- Setí do strniště

Varianta č.3 – Zornění luk a pastvin

Třetí varianta řeší jakých hodnot bude nabývat celková dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí, kdyby došlo ke zornění luk a pastvin při současném způsobu hospodaření. Tedy pokud by C faktor ochranného vlivu vegetace byl roven hodnotě 0,241. Dalším předpokladem je také, že nejsou využívána žádná protierozní opatření a P faktor stejně jako při současném hospodaření je roven 1.

Varianta č.4 – Odlesnění a zornění lesních půd

Poslední varianta podobně jako předchozí vychází ze stejného nastavení parametrů C a P. Kromě orné půdy, luk a pastvin do výpočtu erozního ohrožení byly zahrnuty i lesní porosty. Základním předpokladem je, že lesní porost se odtěží a lesní půda bude taktéž zorněna. Vzhledem k nedostatečným podkladům při hodnocení a nutnosti stanovení K faktoru podle okolních pozemků, bylo řešení konzultováno s prof. JANEČKEM, (III,

2010), kdy výsledky stanovené tímto způsobem poskytují jen obecnou představu o možném ohrožení povodí Budňanského potoka.

5.2 Metoda výpočtu dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí

Pro vyhodnocení erozní ohroženosti Budňanského potoka byla použita univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí. Tato rovnice, jak již bylo popsáno v kapitole 3.6.1 je složena ze šesti členů (R, K, L, S, C, P), kdy výsledná ztráta půdy G je v jednotkách $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$. Z důvodu, že pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy byl zvolen program ArcGIS, musely být jednotlivé faktory nejprve konkrétně stanoveny, a následně převedeny na rastry (bližší viz. jednotlivé faktory). Rozdílný přístup byl zvolen u topografického faktoru LS, který nevychází z klasické metody výpočtu v liniích, ale byl využit přístup z revidované univerzální rovnice. Až v momentě, kdy byly všechny podklady pro výpočet připraveny použila se funkce z ArcToolbox- Single output map algebra, která umožnila jednotlivé faktory vzájemně vynásobit. Ve výsledku tak vznikl rastr znázorňující ztrátu půdy G .

5.3 Faktor erozní účinnosti deště R

Erozní účinnost dešťových srážek se nejvýrazněji projevuje na počátku erozního procesu, kdy dešťové kapky dopadají na půdní povrch, na kterém se ještě nestačila vytvořit vrstva povrchově odtékající vody. Při dopadu dešťové kapky dochází k rozbíjení půdních agregátů, uvolňování půdních částic a zhutňování povrchové vrstvy půdy. (JANEČEK ET AL. 2008)

Vztah pro faktor erozní účinnosti deště R byl odvozen v USA na základě velkého množství dat o dešťových srážkách. Výsledky ukázaly, že jsou-li ostatní faktory USLE konstantní, je ztráta půdy z obdělávaného pozemku přímo úměrná součinu celkové kinetické energie přívalového deště (E) a jeho maximální 30 minutové intenzity (i_{30}).

Hodnota faktoru erozní účinnosti deště R se určí ze vztahu:

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

kde: R - je faktor erozní účinnosti deště ($MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$)

E - celková kinetická energie deště ($J \cdot m^{-2}$)

i_{30} - max. 30 minutová intenzita deště ($cm \cdot h^{-1}$)

Roční hodnota faktoru R představuje součet erozní účinnosti jednotlivých přívalových dešťů, které se v daném roce vyskytly. Neuvažují se deště s úhrnem menším než 12,5 mm a pokud během 15 minutového průběhu nespadne alespoň 6,25 mm. Navíc musí být oddělené od ostatních dešťů dobou delší než 6 hodin. Pro získání reprezentativních údajů pro jednotlivá místa je třeba zpracovat úplné údaje, nejlépe za období alespoň 50 let. V České republice byla průměrná roční hodnota R faktoru ($R = 20 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$) určena na základě dlouhodobé řady pozorování srážek ve stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (Praha-Klementinum, Tábor a Bílá Třemešná). (JANEČEK ET AL. 1992; JANEČEK ET AL. 2007)

Pro krajinně-plánovací praxi postačují hodnoty generalizované v rámci tzv. regionalizace R faktoru graficky, nebo numericky pro jednotlivé stanice Českého hydrometeorologického ústavu. (SKLENIČKA, 2003)

Pro zjištění přesnější hodnoty R faktoru byly použity mapy znázorňující jeho průměrné roční hodnoty.

Použité mapy pro odečet R faktoru:

Průměrné roční hodnoty faktoru R na území ČSFR (JANEČEK ET AL. 1992)

Mapa hodnot R faktoru pro ČR (DOSTÁL ET AL. 2004)

Stále však probíhá revize stanovení tohoto faktoru, kdy v současnosti se uvažuje, že skutečná hodnota by měla být dvakrát až třikrát větší. Pro zájmové území byl R faktor po celkovém zhodnocení stanoven na $25 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$.

5.3.1 Metodika vytvoření R faktoru

R faktor je prvním již předem stanoveným členem univerzální rovnice, aby však mohl být použit ve výpočtu průměrné dlouhodobé ztráty půdy, bylo jej třeba převést do náležité formy.

Za vstupní data byly použity vrstvy ZABAGED orná půda a „louky a pastviny“. Obě tyto vrstvy tvoří zájmové území, na němž byla eroze určována. Z důvodu, že hodnota R faktoru je pro celé území stejná, byla použita funkce Merge, která zmiňované vrstvy spojila v jednu. V následném kroku pro přehlednost a snížení rastrové náročnosti bylo území oříznuto funkcí Clip. U té se v poli Clip features zadá vrstva plochy povodí, tedy polygon podle kterého bude zájmové území oříznuto. Takto vytvořený Shapefile byl již připraven na převod do rastrového formátu, ke kterému se použila funkce Feature to raster. Pro ni se musely definovat příslušné polygony a velikost požadovaných rastrových buněk. Výsledkem z funkce je rastr, který se na závěr musel ještě

reklasifikovat. Proto se ve sloupci New values k původním hodnotám přiřazuje nová, tedy již výše zmiňovaných $25 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$.

5.4 Faktor erodovatelnosti půdy (K)

K faktor v rovnici USLE vyjadřuje vliv kvality půdy na její odolnost vůči dopadajícím dešťovým kapkám, proudící vodě a velikosti infiltrace na množství povrchového odtoku. Kvantitativní hodnota faktoru K byla pro různé půdy určena experimentálně. Odnos půdy byl měřen na standardním pozemku (standardní pozemek má délku po svahu 22,13 m, přímý sklon 9 %, je udržován jako kypřený černý úhor s kultivací po svahu) – tzn., že hodnoty faktorů L, S, C a P byly rovny 1.

Faktor erodovatelnosti půdy lze stanovit třemi postupy:

1. podle vztahu odvozeného pro faktor K,
2. podle nomogramu sestrojeného na základě uvedeného vztahu,
3. přibližně podle hlavních půdních jednotek (HPJ) bonitační soustavy půd.

Pro tuto práci byla vybrána 3. varianta stanovení K faktoru. Ten se určí orientačně podle hlavních půdních jednotek (HPJ) – tj. 2. a 3. místa číselného kódu bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). U takto stanoveného K faktoru se musí brát v patrnost, kdy byl kód BPEJ na základě kterého odvozujeme zjištěn a zda stále odpovídá současné situaci. (JANEČEK ET AL. 2007)

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

Tab. č. 6 Hodnoty faktoru náchylnosti k erozi K podle bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). Originál JANEČEK ET AL. (2007)

5.4.1 Metodika vytvoření K-faktoru

Na rozdíl od všech ostatních faktorů (data ZABAGED) pro K byl použit Shapefile znázorňující polygony bonit půd, který poskytuje Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v Praze. Tato vrstva BPEJ má ve své atributové tabulce zaznamenaný pětimístný kód, charakterizující danou půdu. Jak již bylo popsáno výše, na základě 2. a 3. místa, je možné stanovit erodovatelnost půdy. Proto do atributové tabulky byl vložen nový sloupec (Add Field), který byl následně pojmenován a vyplněn podle příslušné hlavní půdní jednotky. Aby se nemusela každá hodnota K faktoru vypisovat zvlášť, dá se použít funkce Field Calculator, která umožňuje vícenásobný zápis. Po vyplnění sloupce K faktoru byl celý Shapefile oříznut funkcí Clip podle vrstvy plochy povodí a následně převeden do rastru pomocí Feature to raster, kde v poli Field se zvolil sloupec se

zaznamenaným K faktorem. Tímto způsobem vznikl rastr, který je jedním ze členů pro výpočet ohroženosti pozemků vodní erozí.

5.5 Morfologický faktor LS

Vodní eroze je podmíněna povrchovým odtokem vody po skloněném území. Stékající voda nabývá se zvětšováním sklonu a délky svahu větší rychlosti a tangenciálního napětí a tím i většího destrukčního účinku na půdní povrch. Intenzita erozních procesů se obvykle snižuje se zmenšováním sklonu, až dojde k poklesu rychlosti a tangenciálního napětí do té míry, že nastane usazování půdních částic transportovaných po povrchu území. (HOLÝ, 1978)

Pro zjištění vlivu sklonu a délky svahu na intenzitu eroze se násobí faktor sklonu svahu S a faktor délky svahu L, kdy touto kombinací vzniká tzv. topografický faktor LS. Tento faktor představuje poměr ztráty půdy na vyšetřovaném pozemku ke ztrátě půdy na standardním pozemku o délce 22 m a sklonu 9 %. Topografický faktor se obvykle určuje pro reprezentativní dráhy plošného povrchového odtoku, které charakterizují odtokové poměry na pozemku, případně na jeho jednotlivých částech. (JANEČEK ET AL. 2007)

Hodnota topografického faktoru LS pro přímý svah se určí ze vztahu:

$$LS = ld^{0.5} / (0,0138 + 0,0097 s + 0,00138 s^2)$$

kde: ld- je nepřerušovaná délka svahu (m),

Za účinné přerušování délky pozemku po spádnicí se považuje sběrný či záchytný průleh, příkop a hrázka zamezující přetékání vody na níže ležící plochu, nikoliv pouhá mez, přes kterou může povrchový odtok přeřinovat.

s- sklon svahu (%).

Faktor délky svahu (L)

Intenzita eroze se zvyšuje s rostoucí délkou svahu, která je definována jako horizontální vzdálenost od místa vzniku povrchového odtoku k bodu, kde se sklon svahu snižuje natolik, že dochází k ukládání erodovaného materiálu, nebo se plošný odtok soustředí do odtokové dráhy. Hodnota faktoru délky svahu L se stanoví ze vztahu

WISCHMEIERA a SMITHE se zahrnutím přístupu použitého v tzv. revidované universální rovnici ztráty půdy (RUSLE).

Vztah pro výpočet L-faktoru je následující:

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

kde:

22,13- je délka standardního pozemku (m),

l- horizontální projekce délky svahu (uvažuje se nepřerušená délka svahu),

m- exponent délky svahu vyjadřující náchylnost svahu k tvorbě rýžkové eroze.

Faktor sklonu svahu (S)

Sklon území je rozhodujícím faktorem pro vznik a průběh eroze. Ztráta půdy se zvyšuje se vzrůstajícím sklonem svahu, a to rychleji než je tomu u délky svahu. Jeho vliv může být ostatními faktory zeslaben (např. vegetačním pokryvem, stavem půdního povrchu), avšak nikdy zcela potlačen.

Závislost mezi sklonem území a intenzitou erozního procesu, udávaný různými autory, ukazuje, že intenzita erozního procesu se stupňuje s růstem tangenciálního napětí a rychlostí povrchového odtoku, jež jsou převážně funkcí sklonu. (VÁŠKA ET AL. 2000)

Vztah pro výpočet S-faktoru je následující:

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

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

kde:

s- je sklon svahu (rad)

5.5.1 Metodika vytvoření LS-faktoru

V současné době se pro výpočet faktoru L a S využívá kombinace programů ArcMap a USLE 2D. Tento způsob byl použit i pro zvolené povodí Budňanského potoka. Aby však bylo možné LS faktor vůbec stanovit, je předem nutné získat případně vytvořit DEM (digitální elevační model) a rastr pozemků (parcel), které jsou vstupními podklady do program USLE 2D.

Digitální elevační model

Digitální elevační model je digitální reprezentací zemského povrchu, který se skládá ze vstupních dat a interpolačního algoritmu, umožňujícího odvozovat nadmořské výšky v libovolných bodech nacházejících se uvnitř modelované oblasti. K výpočtu povrchu pokrývajícího celou řešenou oblast je tedy třeba vstupních dat představujících hodnoty naměřené nadmořské výšky (pozemní měření, dálkový průzkum země atd.), popřípadě dalších dat, reprezentujících tzv. singularity. (RAPANT, 2006)

Ve zvolené modelované oblasti těmito vstupními daty byly vrstevnice ZABAGED (v rozmezí mezi jednotlivými vrstevnicemi 2m), plocha povodí a linie toku Budňanského potoka. Všechny tyto vrstvy vstoupily do funkce Topo to raster, kde byl pomocí speciální interpolační metody vytvořen rastr hydrologicky přesného modelu terénu. Ovšem ještě před samotným spuštěním funkce Topo to raster bylo nutné nastavit pole Type a definovat typ údaje, např. pro vrstevnice Contour. V případě výškových hodnot se zadává kromě typu i zdroj informace o nadmořské výšce, kdy v poli Field byl vybrán sloupec atributové tabulky, ve kterém jsou hodnoty výšky.

Dalšími podmínkami „singularity“ byly linie Budňanského potoka nastavené jako typ Stream a polygon plochy povodí Budňanského potoka typ Boundary.

Stream – Hydrografická síť. Může výrazně zlepšit kvalitu modelu. Průběh Stream má ve výpočtu prioritu před vrstevnicemi. Vrstva představující Stream musí mít všechny vektory správně orientovány (po proudu) a má být představována jednoduchými čarami.

Boundary – Hranice výstupu. Všechny buňky výstupního rastru, které se ocitnou mimo polygon představující hranici, budou NoData. Tak se může výstup přímo nastavením výpočtu oříznout podle hranic nějaké zájmové lokality. (ESRI, 2008)

Pro vytvoření digitálního modelu, program ArcGIS nabízí ještě další možné singularity, například typ Lake- vodní plochy, obecně zcela plochá místa v modelu. Ve zvoleném povodí se nachází vodní plochy mimo lesní a polní oblasti a z toho důvodu nebylo nutné, aby vstupovaly do modelu.

Rastr parcel

Rastr parcel znázorňuje rozčleněné území na jednotlivé dílčí plochy, se kterými program USLE 2D následně počítá. Aby simulované území odpovídalo skutečnému

členění jednotlivých ploch, je vhodné rastr parcel doplnit o linie přerušující povrchový odtok.

Základními podklady pro vytvoření rastru parcel byla použita data ZABAGED. První část tvořily vrstvy zájmového území, kdy se jednalo o plochy orné půdy, luk a pastvin. Naopak druhou část dat představovaly vrstvy převážně liniové, které v zájmovém území přerušují povrchový odtok. V případě území Budňanského potoka jimi byly linie cest, pěšin, silnic, dálnic, železničních vleček, vodních toků, roklí, stupňů, zdí a skupiny balvanů. Z důvodu, že se jednalo o stejný prvek, byly všechny vrstvy druhé části sjednoceny funkcí Merge. Výsledkem tohoto spojení linií se stala samostatná vrstva, která byla pojmenována jako přerušování linie. V tuto dobu všechna data jak z první, tak i výsledek (přerušování linie) z části druhé, měla stále stejný formát shp. Proto, aby bylo možné v práci pokračovat se vrstvy dále převedly na rastr pomocí Feature to raster. V této funkci se obvykle za atribut v poli Field volí označení „id“, ale samozřejmě může být vybrán i jiný, který by jednoznačně určil dané linie či polygony. Aby data vstupující do programu USLE 2D byla shodná je důležité i nastavení v poli Output cell size, kde se uvádí stejná hodnota jako pro DEM. Po přesném nastavení funkce pro každou vstupující vrstvu vznikly odpovídající rastry, které se následně reklasifikují. I u funkce Reclassify se musí dbát na správné nastavení parametrů, a tak v poli Reclass Field byl zvolen atribut Value. Hodnoty pro tento atribut se zobrazí v poli Reclassification u Old Values, kde se pro ně přiřazují nové hodnoty vždy podle potřeby ve sloupci New values.

Rastry	Old values	New values
orná půda	6885-9493	2
	9493-9610	2
	NoData	1
louky a pastviny	42704-84063	2
	84063-98105	2
	NoData	1
plocha povodí	111050310	1
	NoData	NoData
přerušování linie	9134-27582	NoData
	27582-34781	NoData
	NoData	1

Tab. č. 7: **Příklad nastavení reklasifikace pro jednotlivé vrstvy.**

U rastrů orná půda a „louky a pastviny“ se pro New values zadává stejná klasifikace. Pokud by jejich nová hodnota byla rozdílná, program USLE 2D by chápal přechod mezi nimi jako hranici pro povrchový odtok. Funkce Reclassify se použila i u obou zbývajících rastrů plochy povodí a přerušování linie. Zatím co u plochy povodí byla

pouze původní hodnota změněna na 1, tak u rastru přerušení linie se původní hodnoty ve sloupci Old Values přepsaly na nové NoData a původní NoData byla nahrazena 1. Tímto způsobem byl vytvořen převrácený původní rastr, který následně v kombinaci s ostatními stanovuje délky jednotlivých parcel, na nichž je LS faktor počítán. Kombinace s ostatními reklasifikovanými rastry spočívá ve vzájemném násobení, které zajišťuje nástroj Single output map algebra. Nastavení parametrů této funkce nebylo komplikované, pouze do pole Map Algebra expression se zapsal vzorec:

$$\text{přerušení linie} * \text{plocha povodí} * \text{orná půda} * \text{louky a pastviny}$$

Výsledkem je součin všech rastrů do jednoho, který byl reklasifikován, jak ukazuje následující příklad.

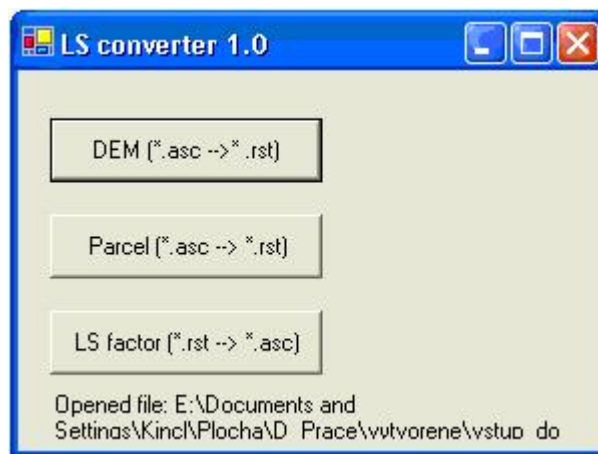
Rastry	Old values	New values
	1	0
Násobení	1-2	1
	NoData	0

Tab. č. 8 **Příklad nastavení reklasifikace u násobných rastrů.**

Při nové klasifikaci se pro zemědělské půdy (orná půda, louky a pastviny) přiřadila hodnota 1. Ostatní plochy, aby do výpočtu LS faktoru nevstupovaly, byla přiřazena hodnota 0. Aplikací funkce se vytvořil rastr parcel. (KADLEC, 2006)

LS-converter

Po vytvoření obou podkladů (DEM, rastr parcel), bylo nezbytné prostřednictvím nástroje Raster to Ascii přistoupit ke změně formátu z rastrové podoby do textu. Důvodem této transformace je, že do programu LS-converter musí data vstupovat buď ve zvoleném formátu txt. nebo v podobě formátu asc.. Následné nastavení LS-convertertoru bylo již poměrně jednoduché, kdy se nejprve použila ikona DEM, ve které se otevřel připravený soubor z programu ArcMap s koncovkou txt. a následně uložil jako DEM rst.. Stejný postup se provedl i v případě parcel. Ikona s označením LS factor se zatím v tuto chvíli nepoužívá. Hlavní význam programu LS-converter spočívá v tom, že připravil data do formátu Idrisi (rst.), se kterými pracuje program USLE 2D.



Obr. č. 3 Program LS converter.

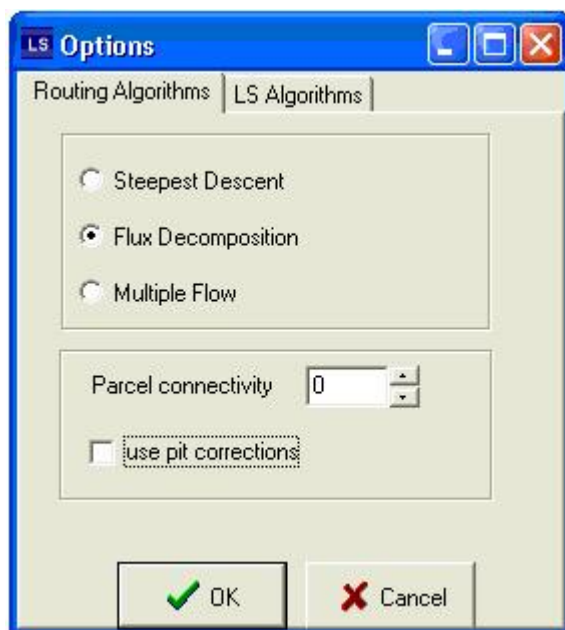
USLE 2D

Program USLE 2D je navržen pro stanovení LS-faktoru, kdy se vychází ze standardní univerzální rovnice pro ztrátu půdy. Výhoda tohoto přístupu spočívá v tom, že odtokové dráhy jsou nahrazeny zdrojovou plochou rastrového elementu. Z tohoto důvodu při porovnávání klasické metody a výpočtu z USLE 2D se výsledky v některých případech mohou i poměrně významně lišit. Spojení USLE 2D a GIS nabízí i možnost kalkulovat s účinností toku vzhledem k tvorbě rýžkové eroze. Kromě nesporných výhod se však objevují i některé nevýhody. Program nenabízí možnost předpovědět, kde se bude erodovaný materiál ukládat. Za další nevýhodu může být brán také fakt, že účinek orby na půdní erozi není přímo vyčíslen, ačkoliv obdělávání půdy je významný faktor ovlivňující její tvorbu. (VAN OOST ET GOVERS, 2000; KADLEC, 2006)

Nastavení Options

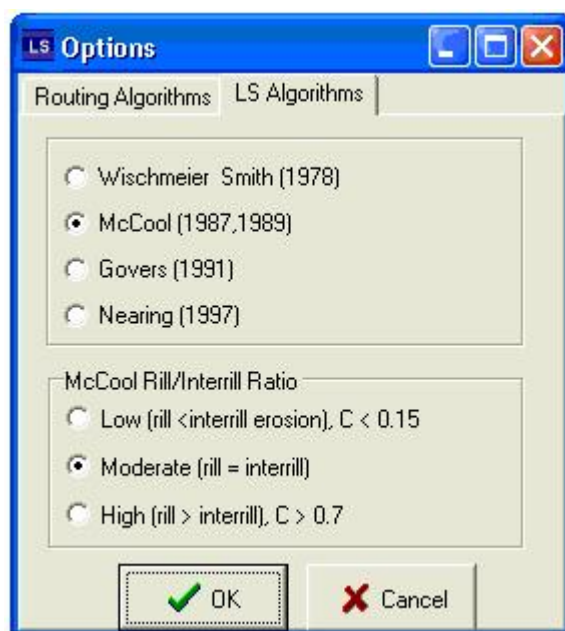
Při spuštění programu USLE 2D ještě před samotným načtením dat se v Options zvolí - Routing Algorithms. Tento algoritmus je zodpovědný za směřování informace o toku mezi buňkami. Volí se mezi dvěma přístupy: jednotlivý (single) nebo vícenásobný (multiple). U jednotlivého se přenáší všechny informace z jedné samostatné buňky svahu na druhou, naopak u vícenásobného algoritmu je umožněn přenos z jedné buňky na několik dalších. Nejlépe se osvědčil algoritmus Flux Decomposition umožňující větvení odtokové dráhy.

Složka Routing Algorithms nabízí i opravu modelu DEM, který může obsahovat různé jámy a lokální deprese. Tyto prohlubně mohou odrážet skutečně místní podmínky, ale často jsou jen výsledkem nedostatečných vstupních dat nebo interpolační chyby. Tato místa tak znepresňují výsledek. Aby k tomu nedocházelo nabízí program USLE 2D pit corrections. (VAN OOST ET GOVERS, 2000; UHROVÁ, 2008)



Obr. č. 4 Program USLE 2D, nastavení Routing Algorithms.

Pro kompletní nastavení Options se musí stanovit i podmínky pro LS Algorithms. Ve volbě algoritmu bývá nejčastěji doporučován McCool (1987-1989), který pro zjištění LS faktoru použil následujících rovnic.



Obr. č. 5 Program USLE 2D, nastavení LS Algorithms.

Rovnice pro výpočet sklonu svahu. (tato rovnice je uvedena již výše, pro názornost je opakována)

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

$$S(i,j) = 16,8 \sin s - 0,50 \quad \text{pro } s \geq 9 \%$$

kde:

s- je sklon svahu (rad)

Rovnice pro výpočet délky svahu.

$$L(i,j) = \frac{x}{x^{m+1}} \cdot \frac{D}{D^{m+1}} \frac{(A_{in} + D^2)^{m+1} - A_{in}^{m+1}}{(A_{in} + D^2 - A_{in}) \cdot (22.13)^m}$$

kde:

D- velikost gridu

x- korekční faktor

A_{in} - jednotka zdrojové plochy na vtoku do gridové buňky

A_{out} -jednotka zdrojové plochy na odtoku z gridové buňky

m- exponent délky svahu se vypočte podle rovnice $m = (\beta / \beta + 1)$

$$\beta = (\sin s / 0,0896) / [3,0(\sin s)^{0,8} + 0,56]$$

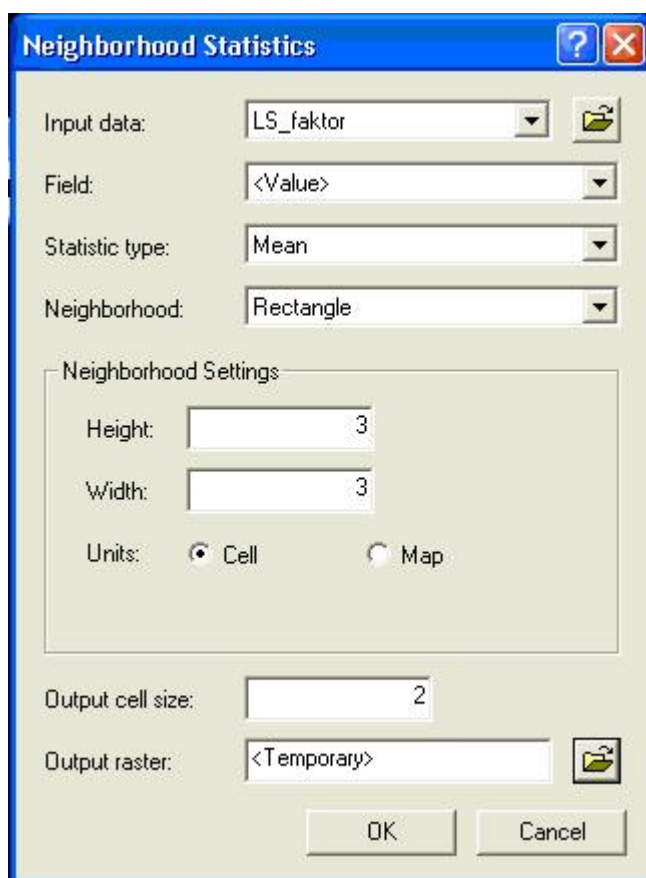
Exponent délky svahu m souvisí i s následným nastavení McCool Rill/Interrill Ratio. Výběr vhodného nastavení závisí na erozních poměrech v území a faktoru ochranného vlivu vegetace. V případě, že je poměr rýžkové eroze nižší než u mezirýžkové a C-faktor je menší než 0,15, nastavuje se hodnota Low. Pokud je poměr plošné mezirýžkové eroze vyrovnaný s rýhovou, což je případ i zvoleného povodí, vybere se Moderate. Nachází-li se vyšetřovaná plocha v oblasti výrazně ovlivněné erozí, kde již rýhová eroze převládla nad mezirýhovou nebo C-faktor je větší než 0,7, volí se označení High. (VAN OOST ET GOVERS, 2000)

Převod LS faktoru do ArcMap

V momentě nastavení Options se teprve přistoupilo k načtení dat do programu. Ve složce File se zvolila záložka USLE 2D a byly načteny soubory s koncovkou rst.. (DEM , parcely). Následně program nabídl místo, kam má být vytvořený LS-faktor uložen. Formát se ponechává ze základu stejný, tedy Idrisi16 rst.. Po uložení práce v USLE 2D končí. Z důvodu, že se stále pracuje s typem formátu rst., bylo nezbytné jej transformovat. K této operaci se použila poslední ikona v programu LS-converter s označením LS factor, která soubor převedla do formátu asc.. S tímto textovým

souborem program ArcMap byl schopen již pracovat. Ovšem pro získání grafické podoby bylo třeba přistoupit ještě k poslední změně formátu, pro kterou se využila funkce z ArcToolbox - ASCII to Raster. Ve funkci se jako Output data type volí FLOAT (desetinné číslo). Po vytvoření se rastr LS faktoru otevřel, a tak došlo k jeho zobrazení.

Aby simulovaný LS faktor byl co nejrealističtější, může se použít ještě funkce Neighbourhood statistics ze sady Spatial Analyst, kdy její aplikací jsou odstraněny osamocené extrémní hodnoty. Volba nastavení Neighbourhood statistics byla následující: v poli Field – Value, Statistic type - Mean (průměr) a Neighborhood – Rectangle.



Obr. č. 6 Program ArcGIS, nastavení Neighborhood Statistic.

Po uložení je LS faktor již hotov a připraven, aby mohl vstoupit do univerzální rovnice pro ztrátu půdy.

5.6 Faktor ochranného vlivu vegetace (C)

Hlavní vliv vegetačního pokryvu při smyvu půdy se projevuje přímou ochranou povrchu půdy před destruktivním působením dopadajících dešťových kapek. Mezi další,

avšak ne méně významné ochranné vlivy, patří zpomalování rychlosti povrchového odtoku a nepřímé působení vegetace na půdní vlastnosti. Ovlivněna je zejména pórovitost a propustnost, včetně omezení možnosti zanášení pórů jemnými půdními částicemi a mechanickým zpevněním půdy kořenovým systémem.

Význam vegetace a její ochranný vliv je přímo úměrný pokryvnosti a hustotě porostu, které mají nejvyšší význam zejména v době výskytu přívalových dešťů (duben-září). Hodnoty faktoru C představují poměr smyvu na pozemku s pěstovanými plodinami ke ztrátě půdy na standardním pozemku udržovaným jako kypřený úhor po každém dešti. (JANEČEK ET AL. 2007)

Pro řešení protierozní ochrany pozemků a posouzení její dlouhodobé erozní ohroženosti se faktor C stanoví pro jednotlivé po sobě pěstované plodiny, včetně období mezi střídáním plodin, při zohlednění nástupu a způsobu agrotechnických prací v 5-ti základních obdobích:

1. období podmínky a hrubé brázdy
2. období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí nebo sázení
3. období po dobu druhého měsíce od jarního nebo letního setí či sázení, u ozimů do 30.4.
4. období od konce 3. období do sklizně
5. období strniště

Váhu hodnot C-faktoru v jednotlivých pěstebních obdobích je nutné korigovat procentuálním rozdělením R-faktoru v průběhu roku po dnech, dekadách či měsících.

Bohužel pro účely této práce z důvodu neposkytnutí osevního postupu zemědělským družstvem Mořina musel být C faktor stanoven dle DUMBROVSKÉHO, (2009), který ho vztahuje ke klimatickému regionu. Proto hodnota použitého C-faktoru pro současné hospodaření na orné půdě je 0,241. Pro louky a pastviny je stanovena hodnota faktoru vegetačního krytu 0,005.

5.6.1 Metodika vytvoření C-faktoru

Z důvodu, že C faktor je různý pro ornou půdu a „louky a pastviny“ bylo potřeba pro obě vrstvy přiřadit náležité hodnoty. Z tohoto důvodu v jejich atributových tabulkách byl přidán nový sloupec (Add Field), který byl (v obou případech) stejně pojmenován a následně do něj byla vypsána příslušná čísla C-faktoru. Opět jako u R a K faktoru pro

lepší přehlednost se vrstvy ořízly funkcí Clip podle „plochy povodí“ a následně spojily funkcí Merge. Tímto způsobem byl vytvořen Shapefile znázorňující „zemědělské půdy“, kdy v jeho atributové tabulce je pro každý polygon zaznamenána příslušná hodnota C faktoru. Protože do tohoto momentu se pracovalo pouze s vektorovými daty, pro jejich převod na rastr se využila funkce Feature to raster. Vstupem do ní byla vytvořená vrstva „zemědělských půd“, a za parametr funkce (pole Field) se volí sloupec atributové tabulky s hodnotou C faktoru. Output cell size (velikost buňky rastru) jako u předešlých vytvořených rastru je 2. Po aplikaci vznikl rastr znázorňující C faktor příslušné plochy.

5.7 Faktor účinnosti protierozních opatření (P)

Mezi protierozní opatření vztahující se k P faktoru patří: konturové obdělávání s podmínkou maximální délky pozemku po spádnicí, pásové střídání plodin s maximální šířkou a počtem pásů, hrázkování a terasování. Jestliže nelze předpokládat, že byla tato protierozní opatření dodržena a to včetně jejich podmínek, používá se hodnota P faktoru rovna 1. (JANEČEK ET AL. 2002) Taková hodnota byla uvažována i pro posouzení zemědělských pozemků v této práci.

5.8 Metodika určení ohroženosti pozemků vodní erozí

Přípustná ztráta půdy vodní erozí byla zjišťována na základě bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ), která je vyjádřena 5. číslicí kódu značící skeletovitost a hloubku půdy.

Přípustná ztráta půdy vodní erozí pro tuto práci byla řazena podle následující tabulky:

Hloubka půdy	Kód BPEJ (5.číslice kódu)	Přípustná ztráta půdy erozí (t . ha ⁻¹ . rok ⁻¹)
Středně hluboké (30 - 60 cm)	1,4,7	4,0
Hluboké (více než 60 cm)	0,2,3	10,0

Tab. č. 9 Přípustná ztráta půdy erozí vzhledem k hloubce orných půd.
Podle JANEČEK ET AL. (2008)

U půd s kódem 8 a 9 (HPJ 40 a 41) bylo nutné stanovit hloubku profilu půdy terénním průzkumem, při němž bylo odebráno několik vzorků poukazujících na mělkost. To se

potvrdilo i v ústní konzultaci s místním obyvatelstvem, proto byly tyto pozemky zařazeny společně s kódy 5 a 6 mezi mělké půdy s přípustnou ztrátou $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Vzhledem k mělkosti, skeletovitosti, ale i sklonu jsou pozemky s hodnotou 8 a 9 ve velké míře zatravněny.

Kód BPEJ (5.číslice kódu)	Přípustná ztráta půdy erozí ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)	Velikost území (ha)	Poměrná velikost území (%)
5, 6, 8, 9	1	52,32	22,7
1, 4, 7	4	207,48	61,7
0, 2, 3	10	76,34	15,6

Tab. č. 10 **Přípustná ztráta půdy erozí podle hloubky orných půd a znázornění poměrů v území.** Podle JANEČEK ET AL. (2008)

K tomu, aby mohla být vyhodnocena ohroženost pozemků vodní erozí bylo nezbytné vytvořit rastr znázorňující přípustnou ztrátu pro daný typ půdy. Postup vytvoření byl zcela shodný jako v případě vytvoření K faktoru, proto nebude opět popisován.

Samotné vyhodnocení ohroženost pozemků bylo možné posoudit dvěma způsoby. První metoda využívá logické funkce Greater than, která porovnává vypočtenou ztrátu půdy se ztrátou přípustnou. Ve výsledném rastru se znázorní místa, ve kterých byla zjištěná ztráta půdy překročena. Ta jsou označena 1. Naopak neohrožená místa, u nichž je ztráta půdy nižší (nepřekračují přípustnou mez), byla označena hodnotou 0. Druhým způsobem jak stanovit ohroženost pozemků je pomocí funkce Míinus, kdy od přípustné ztráty byla odečtena vypočtená ztráta půdy. Výsledný rastr pak znázorňuje, jak velká je odchylka zjištěné eroze od přípustné ztráty.

6. Výsledky

Varianta č.1 - Současný stav

Při současném způsobu hospodaření je ohroženo 128 ha, což představuje 38 % půdy ze všech zemědělsky využívaných ploch (orná půda, louky a pastviny). Z grafického vyhodnocení varianty jednoznačně vyplývá, že vodní erozí je prakticky postižena jen orná půda. Tento fakt tak dokazuje, že trvalé travní porosty, v důsledku nízkého faktoru ochranného vlivu vegetace, poskytují dostatečnou ochranu.

Povodí Budňanského potoka jak zjistily výsledky, je skutečně erozně ohrožené. Přímou tak byla potvrzena správnost uváděných údajů na serveru SOWAK GIS. Jistá shoda byla pozorována i v případě výsledků dlouhodobé průměrné ztráty půdy na jednotlivých pozemcích. Porovnání však bylo poměrně obtížné vzhledem k faktu, že hodnota smyvu na pozemcích je rozdělena a průměrována. Grafické znázornění viz. přílohy č. 1, 2, 3, 4.

Varianta č.2 – Aplikace protierozního osevního postupu

Aplikací protierozního osevního postupu poměrně významně klesla i ohroženost pozemků vodní erozí, kdy přípustná ztráta půdy by byla překročena již jen na 11 % všech zemědělských ploch tedy přibližně 38 ha. K výraznému snížení došlo zejména u průměrné dlouhodobé ztráty půdy, která poklesla na 1/3 původní hodnoty. Tato skutečnost je usuzována z nejvyšších vypočtených hodnot, jenž se snížily po aplikaci osevního postupu z původních 189 na 57 t.ha⁻¹.rok⁻¹.

Na první pohled je patrné, že nejpostiženější pozemek se nachází v západním směru od obce Mořiny. Hodnoty erozního smyvu u tohoto jediného pozemku mohou být nadhodnoceny a to v důsledku, že do výpočtu byl použit faktor účinnosti protierozních opatření roven 1. Aby však mohl být faktor P nižší, bylo by třeba jednoznačně prokázat, že jsou dodrženy podmínky sklonu a délky. Grafické znázornění viz. přílohy č. 5, 6.

Výsledky měly poukázat jaká protierozní opatření by bylo vhodné dále použít. Jak se domnívám pro jejich návrh je třeba přesnějších podkladů. Případná opatření byla shrnuta pouze v části Diskuze.

Varianta č.3 – Zornění luk a pastvin

Zornění luk a pastvin jednoznačně vedlo k navýšení celkové ztráty půdy vodní erozí. Pokud by k němu skutečně došlo, jak simuluje tato varianta, ohroženo by se stalo celých 52 % procent zemědělských půd (174 ha). Tento nárůst je způsoben zejména v důsledku odstranění travního pokryvu u nejsvažitéjších pozemků. Dlouhodobá ztráta půdy v

odtokových drahách dosahuje až hodnoty 203 t.ha⁻¹.rok⁻¹. Grafické znázornění viz. přílohy č. 7, 8.

Varianta č.4 – Odlesnění a zornění lesních půd

Odlesnění a zornění lesní půdy podobně jako u luk a pastvin vedlo k nárůstu dlouhodobého průměrného smyvu půdy až na hodnotu 207 t.ha⁻¹.rok⁻¹. Tento údaj vzhledem k metodě stanovení musí být chápán jen orientačně. Přesto lze říci i vzhledem ke zjištěnému faktoru LS, že k nejvyšším ztrátám bude docházet v okolí uzávěrového profilu, tedy zejména v blízkosti obce Karlštejn. Grafické znázornění viz. příloha č. 9.

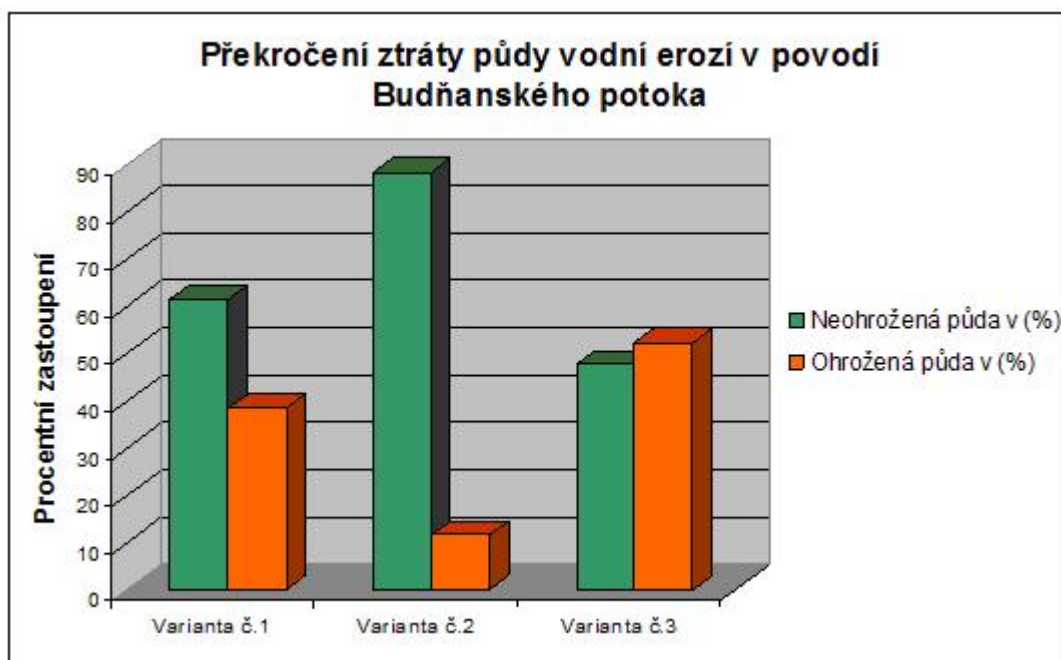
Porovnání výsledků

Jak ukazuje následující tabulka je současné erozní ohrožení zemědělských pozemků poměrně významné. Tato skutečnost by se dala podstatně zmírnit aplikací protierozního osevního postupu, ale i tak by zůstalo ohroženo přibližně 11 % půdy. K výraznému zhoršení současného stavu by došlo, zorněním trvalých travních porostů. V takovém případě by v povodí Budňanského potoka bylo ohroženo celých 52 % zemědělské půdy.

Druh varianty	Neohrožená půda v (ha)	Neohrožená půda v (%)	Ohrožená půda v (ha)	Ohrožená půda v (%)	Suma v (ha)
Varianta číslo 1 Současný stav	205,68	61,50	128,95	38,50	334,63
Varianta číslo 2 Aplikace protierozního osevního postupu	296,78	88,40	38,89	11,60	335,67
Varianta číslo 3 Zornění luk a pastvin	159,37	47,70	174,56	52,20	333,93

Tab. č. 11 **Ohroženost zemědělských pozemků vodní erozí dle jednotlivých variant.**

Poznámka: Výsledná suma v tabulce vzhledem k porovnávání stejného území by měla být vždy stejná, důvodem proč tomu tak není je převod, rastru na vektor při kterém dojde vždy k drobnému zkreslení.



Obr. č. 7 Překročení ztráty půdy vodní erozí v povodí Budňanského potoka.

7. Diskuze

Ačkoliv jsou empirické modely jako rovnice USLE považovány za jakýsi přežitek, ve spojení s geografickými informačními systémy a se zahrnutím nejnovějších poznatků o erozi, mohou stále nabízet jedno z řešení jakým by se posuzování protierozní ochrany mohlo ubírat. Výhoda takového přístupu spočívá v mnohem přesnějším určení jednotlivých faktorů. Zřetelným příkladem v tomto směru je i v této práci použitý LS faktor. Aby mohl být stanoven, musela se nejprve data upravit v komerčním softwaru ArcGIS, a až teprve následně mohla vstoupit do externího přímo specifikovaného programu USLE 2D. Výhoda této metody spočívá v nahrazení klasicky používané dráhy odtoku zdrojovou plochou rastrového elementu a v možnosti stále kalkulovat s účinností toku vzhledem k tvorbě rýžkové eroze. Přesně tento přístup tak umožnil do výpočtu celkové ztráty půdy zahrnout relativně nové poznatky o průběhu eroze.

Varianta č.1 - Současný stav

U této varianty se skutečně prokázala správnost poskytovaných map na serveru SOWAK GIS, kdy udávané hodnoty ztráty půdy přibližně odpovídaly vypočteným. Mírná rozdílnost výsledků byla způsobena zejména R faktorem, kdy používána hodnota výzkumným ústavem byla $20 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$, což je průměrná roční hodnota pro ČR (výpočet ztráty byl prováděn pro celou ČR). Mnou volená hodnota po prostudování map regionalizace R faktoru a byla určena na hodnotě $25 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$. Správnost potvrdil (VOPRAVIL, III, 2010, in verb.).

Výsledná ztráta půdy byla do jisté míry ovlivněna i stanovením LS faktoru, kdy se u obou metod vycházelo z dat ZABAGED. Přístup při zpracování těchto vstupů však byl rozdílný. Výzkumný ústav pro určení topografického faktoru vychází z práce Mitasove et al., (1996): Modeling Topographic Potential for Erosion and Deposition Using GIS. Tato metoda využívá k výpočtu akumulaci odtoku a sklonitost území v kombinaci s mapovou algebrou. Naopak pro zjištění faktoru LS v povodí Budňanského potoka byl volen program USLE 2D, který nabízí vícero přístupů výpočtu algoritmu. Výhodou v tomto směru je, že pro některé z nich se dají dále specifikovat podmínky výpočtu podle místních poměrů. Nicméně problematika určení topografického faktoru, tak aby co nejvěrněji simuloval zájmové území je poměrně obtížná, a proto bych se pozdržel hodnocení jednotlivých přístupů.

Faktor ochranného vlivu vegetace C byl u obou variant stanoven stejně, tedy podle klimatického regionu. Takto určená hodnota může být oproti skutečnosti zcela jiná. Bohužel, přístup k poskytování podkladů u některých zemědělských subjektů je dosud negativní. Na druhou stranu, pokud by byl použitý C faktor jiný než v metodě VÚMOP vedlo by to ke zkreslení výsledů, a ty by se jen obtížně srovnávaly.

Jak obě metody zjistily, v povodí Budňanského potoka dochází k překročení přípustné ztráty půdy. Tento fakt potvrzuje i druhá varianta v níž se počítá s poměrně přísným protierozním osevním postupem, kdy i přesto je na některých plochách překročena přípustná mez. Proto by mělo být zváženo, jestli je lepší vynaložit náklady na nutnou protierozní ochranu, nebo zda by orná půda v povodí Budňanského potoka neměla být převedena spíše na trvalé travní porosty případně zalesněna. Významnou roli ve výběru varianty hraje i skutečnost, že území je součástí CHKO Český kras.

Varianta č.2 – Aplikace protierozního osevního postupu

Ve variantě číslo 2 byl aplikován protierozní osevní postup, který do určité míry zmenšil ztrátu půdy vodní erozí. Toto opatření v některých místech není ještě dostačující, a proto by na těchto plochách bylo vhodné vytvořit zatravněný průleh, případně na nich uplatnit jiný způsob obdělávání vycházející z faktoru účinnosti protierozních opatření. Pro vyhotovení návrhu by bylo třeba přesnějších podkladů, nejlépe z místního měření v zájmové oblasti. Ještě před samotným návrhem opatření by mělo dojít ke konzultaci protierozního osevního postupu s agronomek, který stanoví zda by se takový způsob ekonomicky vyplatil.

Varianta č.3 – Zornění luk a pastvin

Zornění luk a pastvin při současném způsobu hospodaření, jak simuluje toto řešení, vedlo k poměrně významnému nárůstu hodnot průměrné ztráty půdy vodní erozí. To je zapříčiněno hlavně tím, že jsou zatravněny nejsvažitéjší pozemky. Zpravidla ty, které jsou v bezprostřední blízkosti obce Mořiny. Identické rozvržení využití pozemků je možné pozorovat i na mapách ze stabilního katastru, což dokládá, že i v minulosti si byli vědomi možnosti ohrožení intravilánu obce. Proto by tyto pozemky měly být ponechány ve svém současném stavu. V opačném případě by mohlo dojít až k ohrožení části obce Mořiny erozním smyvem.

Varianta č.4 – Odlesnění a zornění lesních půd

Poslední varianta zjišťovala jak se projeví odlesnění a následné zornění půdy při stávajícím způsobu hospodaření. Ještě před výpočtem jsem předpokládal, že výsledná ztráta bude vyšší než u předešlých variant, což použité programy následně potvrdily.

U varianty číslo 4. musí být řečeno, že se jedná pouze o přibližnou metodu stanovení erozního ohrožení, a to z důvodu pozměněných vlastností lesní půdy, kdy výrazný vliv na hodnotu faktoru K může mít obsah humusu, zbytky dřevní hmoty a zapracovaná hrabanka při orbě. Ke zkreslení výsledku celkového erozního ohrožení může dojít i v důsledku, že lesní půda není bonitována, a tak K faktor musel být určován podle sousedních zemědělských pozemků. Přesto i takto hrubě stanovené hodnoty erozního smyvu mohou poskytnout přinejmenším rámcovou představu, jaké by mělo případné odlesnění a následné zornění vliv. Ohrožen by se stal zejména intravilán obce Karlštejn, kde eroze nabývá vzhledem ke sklonitosti okolních svahů nejvyšších hodnot. Tato varianta tak přímo potvrdila, že současné lesní porosty mají význam nejen hospodářský, ale především ochranný.

Přesnost výsledků

Přestože v současnosti pro vyhodnocení erozního ohrožení existuje nepřeberné množství modelů a způsobů stanovení, přesnost výpočtů se vždy odvíjí od vstupujících údajů.

Ve své práci za nejproblematictější považuji určení faktoru C na základě klimatického regionu, kdy takováto hodnota se může i výrazně lišit od skutečnosti. Proto pokud by byla vyhodnocována ohroženost jednotlivých pozemků, je nezbytné získat přesnější podklady.

Různá úskalí jsou spojena i s vytvořením LS faktoru. Prvním podkladem pro jeho výpočet je Digitální elevační model, který by měl co nejvěrněji simulovat zájmové území. Aby tomu tak skutečně bylo je nezbytné využít vrstevnice s co nejmenším rozdílem v převýšení. U Digitálního elevačního modelu bývá vhodné využít i různé singularity zpřesňující výsledky. V případě povodí Budňanského potoka se jednalo o vrstvu vodního toku definovanou jako typ Stream. Aby došlo ke zpřesnění modelu musí být předem zkontrolováno, zda byla vrstva vektorizována po směru toku.

I v případě rastru parcel, což je druhý podklad pro LS faktor je nezbytná určitá kontrola. Vrstvu pozemků je vhodné posoudit s co nejaktuálnějším leteckým snímkem, kdy některé prvky nemusí být zaznamenány. Pozornost by měla být věnována zejména

veškerým hranicím přerušující povrchový odtok. Jejich nezahrnutí do výpočtu by vedlo k nadhodnocení výsledků celkové ztráty půdy.

Pro stanovení K faktoru a přípustné ztráty byla vybrána metoda určení podle map bonitovaných půdně ekologických jednotek. Výhoda takového přístupu spočívá v dostupnosti a jednoduchosti. Přesto jak popisuje JANEČEK ET AL. (2008), takto určená hodnota K faktoru je jen velmi přibližná. Pro zpřesnění by bylo nezbytné provést místní rozbor půdy a dle jeho výsledků K faktor přímo stanovit.

8. Závěr

Zhodnocení jednotlivých variant

Výsledky práce potvrdily správnost poskytovaných údajů na serveru SOWAK GIS, které stanovily, že zemědělské pozemky v povodí Budňanského potoka jsou skutečně ohroženy vodní erozí. Obě metody výpočtu ztráty půdy se od skutečnosti mohou vzhledem ke vstupním údajům mírně lišit, kdy zkreslení výsledků mohlo nastat zejména u faktoru ochranného vlivu vegetace. Míra odchýlení by neměla být nějak významná. Ohroženost zemědělských pozemků je nepřímou potvrzena i u druhé varianty, ve které byl aplikován přísný protierozní osevní postup. I v tomto případě ztráta půdy překročila přípustnou mez u 11 % zemědělské půdy.

Pro komplexní posouzení byly voleny i situace, u kterých se předpokládala změna způsobu využití půdy. Při zornění luk a pastvin s využitím současného způsobu hospodaření by došlo k poměrně výraznému nárůstu ztráty půdy. Erozní smyv tak byl překročen na 174 ha, což je 52 % ze všech zemědělských ploch. Takovéto navýšení je způsobeno zejména velkou svažitostí těchto pozemků. Simulací potenciálního ohrožení je i varianta předpokládající odlesnění a následné zornění lesní půdy. Přesto, že její výsledky jsou spíše rámcovým odhadem, poukázaly na fakt, že lesní porosty v zájmové oblasti mají význam nejen hospodářský, ale především ochranný.

Použití GIS a přesnost výsledků

Význam geografických informačních systémů v různých oborech činnosti neustále vzrůstá a tak si své místo našly i při hodnocení eroze. V této práci se výhoda použití projevila zejména při přesnějším určení topografického faktoru LS. Na rozdíl od klasické metody, která řeší ztrátu půdy manuálním navržením reprezentativních odtokových drah. V případě použití GISu se využívá při výpočtu zdrojové plochy, ze které se povrchový odtok soustředí do své odtokové dráhy. Velikost přispívající zdrojové plochy je pak závislá na místní topografii. Tento rozdíl v přístupu má za následek, že výsledky obou metod se v některých případech mohou i významně lišit. Ať bude použita jedna nebo druhá metoda stanovení LS faktoru, její přesnost se bude především odvíjet od vstupních údajů. Tato skutečnost samozřejmě platí i u ostatních faktorů. V této práci se ukázalo problematické, především získání současného osevního postupu. I u ostatních faktorů při jejich stanovení mohou nastat různá úskalí. Příkladem je opět LS faktor, pro jehož výpočet se využívá rastr parcel a Digitální elevační model,

u kterých musí být dodržen správný postup práce. V opačném případě by výsledky byly zkresleny.

Přínos práce a dosažené výsledky

Práce skutečně prokázala možnost posouzení erozního ohrožení povodí IV. řádu (rozloha takového území odpovídá přibližně 10 km²). Metoda výpočtu přitom neklade velké nároky na výpočetní techniku a používá poměrně v praxi často využívané softwarové prostředky (ArcGIS) a běžně dostupná data. Výhoda také spočívá ve skutečnosti, že zjištěné výsledky jsou srovnatelné s jinými mnohdy i složitějšími přístupy. Při hodnocení erozního ohrožení by tak mohla nalézt uplatnění jak popsaná metodika postupu, tak i stanovené varianty pro posouzení kteréhokoliv podobného území.

Výsledky práce jsou použitelné jako podklad pro výběr pozemků, na kterých je nutné protierozní ochranu blíže řešit. Případně pro zvážení současného hospodaření a rozhodování v povodí Budňanského potoka, které je významnou částí CHKO Český kras.

9. Seznam použité literatury

- **CHKO Český kras, 2010:** CHKO Český kras - Charakteristika území. Karlštejn, online: <http://www.ceskykras.ochranaprirody.cz/index.php?cmd=page&id=311>, cit. 15.2. 2010.
- **Derpsch R., 2004:** Understanding the process of soil erosion and water infiltration. Paraguay, online: <http://www.rolf-derpsch.com>, cit. 11.11.2009.
- **Dostál T., Krása J., Kolářková J., Nováková H., Nikl J., Váška J. et Vrána K., 2002:** Metody odhadu erozní ohroženosti a transportu sedimentu z povodí. ČVUT Fakulta stavební projekt COST, Praha, 1-17.
- **Dostál T., Krása J., Květoň V. et Vrána K., 2004:** Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, erozních a transportních procesů v krajině. ČVUT Fakulta stavební projekt COST, Praha, 26-38.
- **Dufková J, Toman F., 2004:** Eroze půdy v podmínkách klimatické změny, Seminář: Extrémny počasí a podnebí, Brno.
- **Dumbrovský M., 2009:** Geografické informační systémy. Vysoké učení technické v Brně (FAST), Brno.
- **ESRI, 2008:** Topo to Raster. ArcGIS 9.2 Desktop Help online: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?id=5003&pid=4995&topicname=Topo_to_Raster, cit. 11.2.2010.
- **Fidler J. et Jůva K., 1983:** Meliorace. Vysoká škola zemědělská v Praze, Praha.
- **Harmon R.S. et Doe W.W., 2001:** Landscape erosion and evolution modeling. Plenum publishers, New York.
- **Holý M., 1978:** Protierozní ochrana. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha.
- **Holý M., 1994:** Eroze a životní prostředí. Vydavatelství ČVUT, Praha.

- **Charman J., 2001:** Methods and Materials in Soil Conservation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, online:
<ftp://ftp.fao.org/AGL/agll/docs/mmsoilc.pdf>, cit. 5.1.2010.
- **IIRR, 2010:** Sustainable Agriculture Extension Manual. The International Institute of Rural Reconstruction, online: <http://www.iirr.org/>, cit. 12.11.2009.
- **Jakubíková A. et Váška J., 2005:** RUSLE- modernizovaný postup stanovení ohroženosti půd vodní erozí. Soil and water č.4: 36-46.
- **Janeček M., Pasák V., Bohuslávek J., Sokolová I., Toman F., Fuxa Z. et Švehla F., 1992:** Ochrana zemědělské půdy před erozí. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha.
- **Janeček M., Hůla J., Kovář P., Dumbrovský M., Dostál T., Podhrázká J., Toman F., Pivcová J., Tippl M. et Kubátová E. 2002:** Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství, Praha.
- **Janeček M., Pasák V., Tippl M., Pivcová J., Váška J. et Toman F., 1998:** Nové směry v protierozní ochraně půdy. ÚZPI, Praha.
- **Janeček M., Bečvář M., Bohuslávek J., Dufková J., Dumbrovský M., Dostál T., Hůla J., Jakubíková A., Kadlec V., Krása J., Kubátová E., Novotný I., Podhrázká J., Tippl M., Toman F., Vopravil J. et Vrána K., 2007:** Ochrana zemědělské půdy před erozí. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.
- **Janeček M., Hůla J., Kovář P., Dumbrovský M., Dostál T., Podhrázká J., Toman F., Pivcová J., Tippl M. et Kubátová E., 2008:** Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- **Kadlec J., 2006:** Výpočet LS-faktoru (RUSLE) s využitím GIS a USLE2D. online: <http://www.plaveniny.cz/cz/rusle/lis-faktor/>, cit. 20.2.2010.
- **Kadlecová R. et Žák K., 1998:** Krasové prameny Českého krasu. Český kras 1998 č.24: 17-34.
- **Kliment Z. et Langamer J., 2005:** Modelování erozního ohrožení ve velkých územních celcích. ČAG a JČU Nové hrady: 75-83.

- **Kuklík V. et Křovák F., 1988:** Cvičení z meliorací. Vysoká škola zemědělská v Praze, Praha.
- **Lal R., 1994:** Soil erosion- Research methods. St. Lucie Press, Florida.
- **Lipský Z., 1999:** Krajinná ekologie pro studenty geografických oborů. Karolinum, Praha.
- **Lomy Mořina, 2010:** Geologie regionu. Lomy Mořina, online: <http://www.lomy-morina.cz/>, cit. 3.2.2010.
- **Mitasova H., Hofierka J., Zlocha M. et Iverson R.L., 1996:** Modelling Topographic Potential for erosion and Deposition Using GIS. International Journal of Geographical Informations Systéme Vol. 10: 629-641.
- **Mortlock D., 2005a:** Soil erosion in the past. Soil erosion site, online: http://www.soilerosion.net/doc/history_of_erosion.html, cit. 18.10.2009.
- **Mortlock D., 2005b:** The extent of soil erosion. Soil erosion site, online: http://www.soilerosion.net/doc/extent_of_erosion.html, cit. 21.10.2009.
- **Muir P. S., 2010:** Erosion from inappropriate agricultural practices on crop lands, Oregon state University, Kreton, online: <http://people.oregonstate.edu/~muirp/erosion.htm>, cit. 4.1.2010.
- **Podhrázská J., 2008:** Protierozní ochranná opatření v zemědělské krajině. MAS Moravský kras, on line: www.spolekmoravskykras.cz/create_file.php?id=294, cit. 12.12.2009.
- **Rapant P., 2006:** Geoinforamatika a geoinformační technologie. VŠB Technická univerzita Ostrava, Ostrava.
- **Sklenička P., 2003:** Základy krajinného plánování. nakladatelství Naděžda Skleničková, Praha.
- **SOWAK GIS, 2010:** Vodné eroze. SOWAK vodní a větrná eroze půd v ČR, online: http://ms.sowac-gis.cz/mapserv/dhtml_eroze/index.php?project=dhtml_eroze&, cit. 3.3.2010.

- **Šimůnek O., 2005:** Zelené stránky Českého krasu. Agentura Koniklec, Praha.
- **Toy T.J., Foster G.R., Renard K.G., 2002:** Soil erosion- Processes, Prediction, Measurement and Control. John wiley and Sons, New York.
- **Uhrová J., 2008:** Metody výpočtu erozního smyvu. JUNIORSTAV- Vodní hospodářství a vodní stavby: 1-4.
- **Van Oost k. et Govers G., 2000:** USLE 2D manual. Laboratory For Experimental Geomorphology, Leuven. online:
<http://www.kuleuven.ac.be/facdep/geo/fgk/pages/expgeom.htm>, cit. 2.3.2010.
- **Váška J., Dvořák P., Hrádek F., Kovář P., Kulhavý F., Kuráž V., Říha J. et Vrána K., 2000:** Hydromeliorace. Nakladatelství ŠEL, Praha.
- **Vyhláška č. 546/2002.,** Charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci, v platném znění.
- **Woolman G.M., 1986:** Soil Conservation. National Academy Press, Washington.
- **Zachar D., 1970:** Soil Erosion. VEDA Publishing House the Slovak Academy of Science, Bratislava.

Data pro zpracování práce byla poskytnuta:

Zeměměřickým úřadem
Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy

PŘÍLOHY



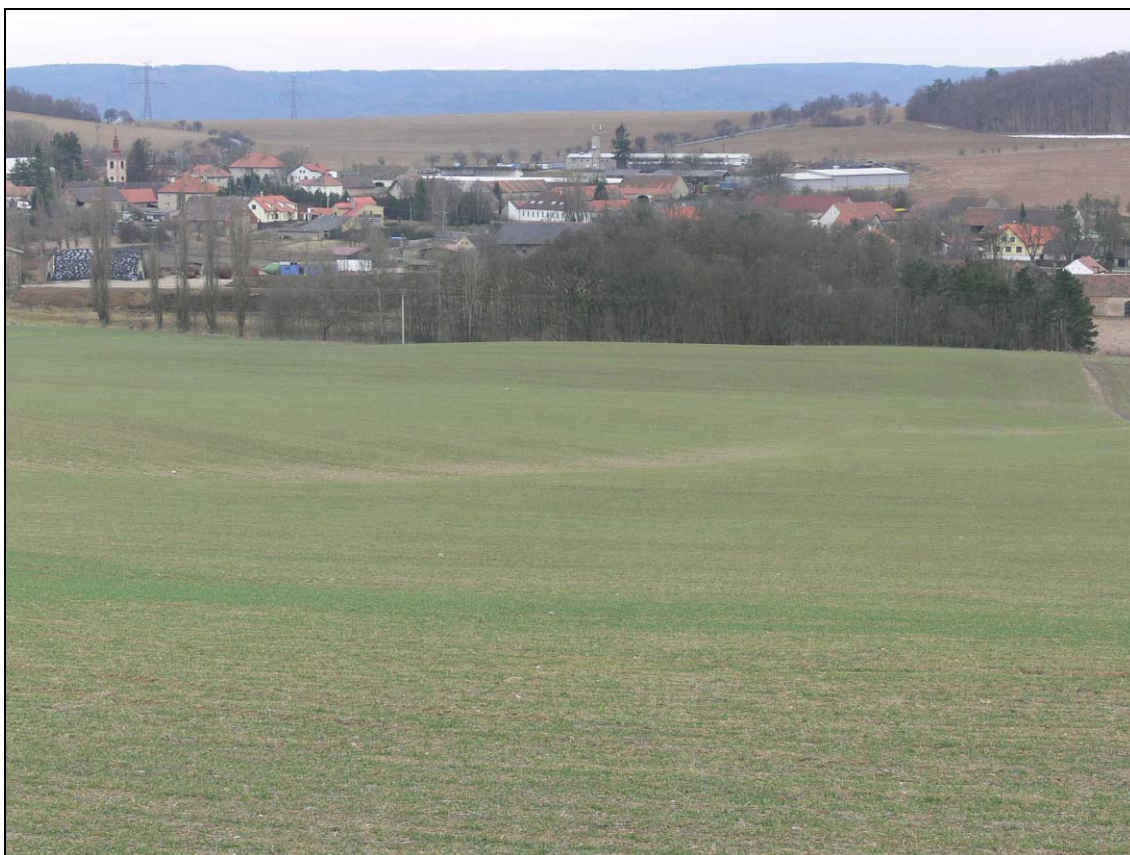
Obr. č. 1 **Východní pohled na obec Mořinu.** (Foto D. Kincl)



Obr. č. 2 **Narušený svah, který je postupně erodován.** (Foto D. Kincl)



Obr. č. 3 Zanesený příkop a propustek. (Foto D. Kincl)



Obr. č. 4 Viditelný rozdíl mezi vegetací v údolnici a vegetací okolní.
Údolnice modelem posouzena jako erozně ohrožená. (Foto D. Kincl)



Obr. č. 5 **Pohled na údolnici z protějšího svahu.** (Foto D. Kincl)



Obr. č. 6 **Orná půda nacházející se ve východní části povodí Budňanského potoka.**
(Foto D. Kincl)

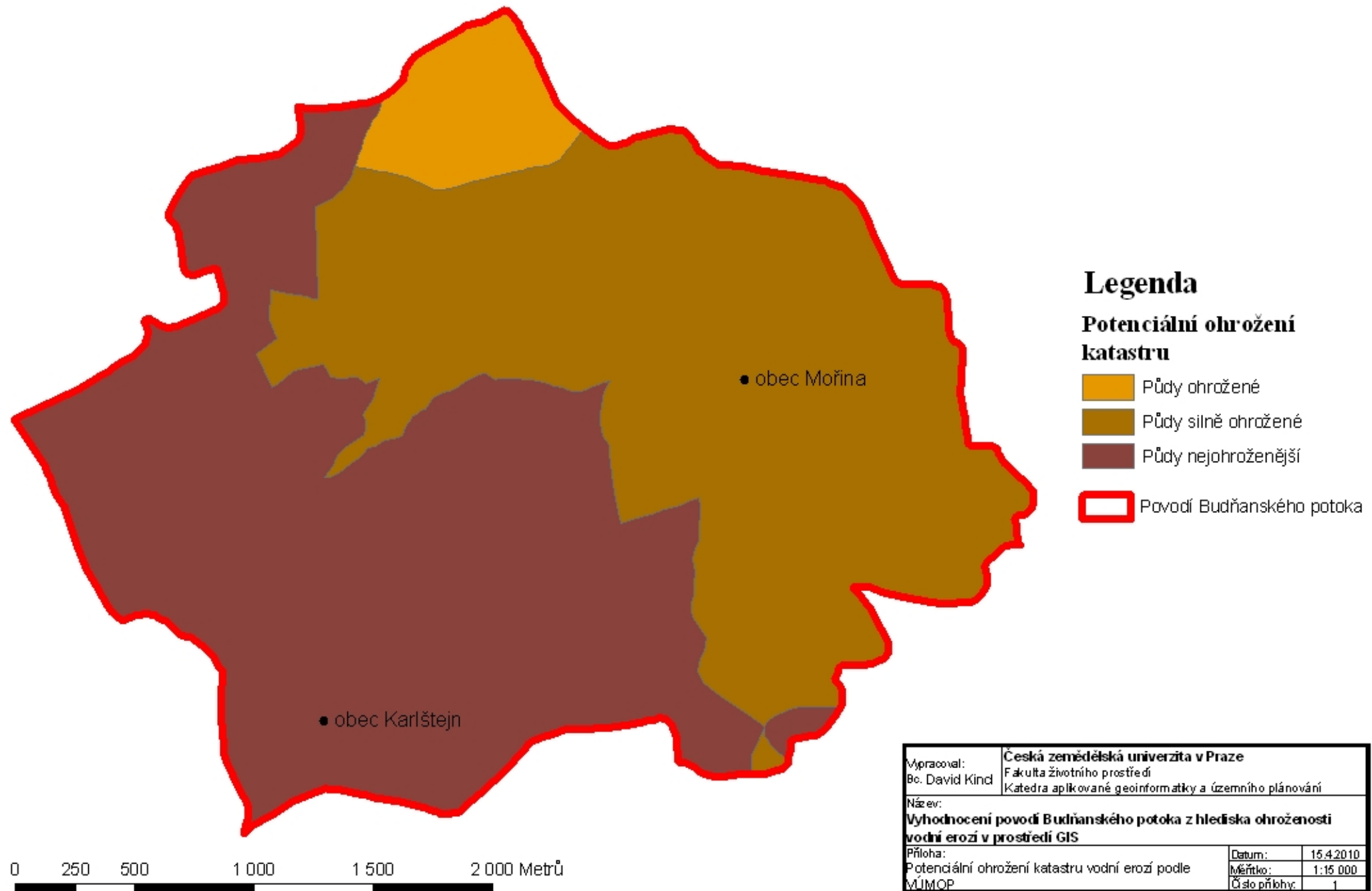


Obr. č. 7 Louky a pastviny nad obcí Mořina. (Foto D. Kincl)

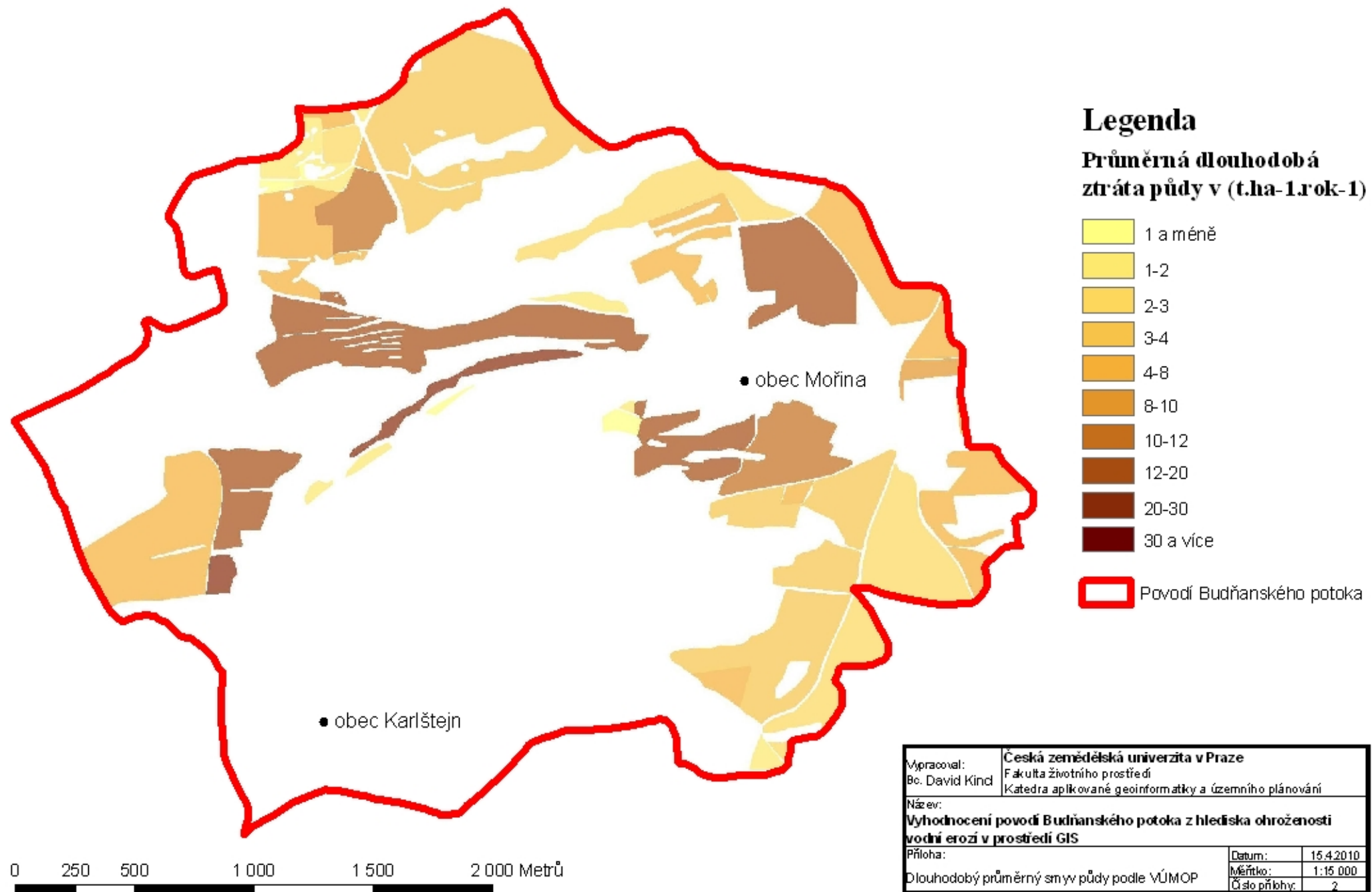


Obr. č. 8 Opevněné koryto Budňanského potoka. (Foto D. Kincl)

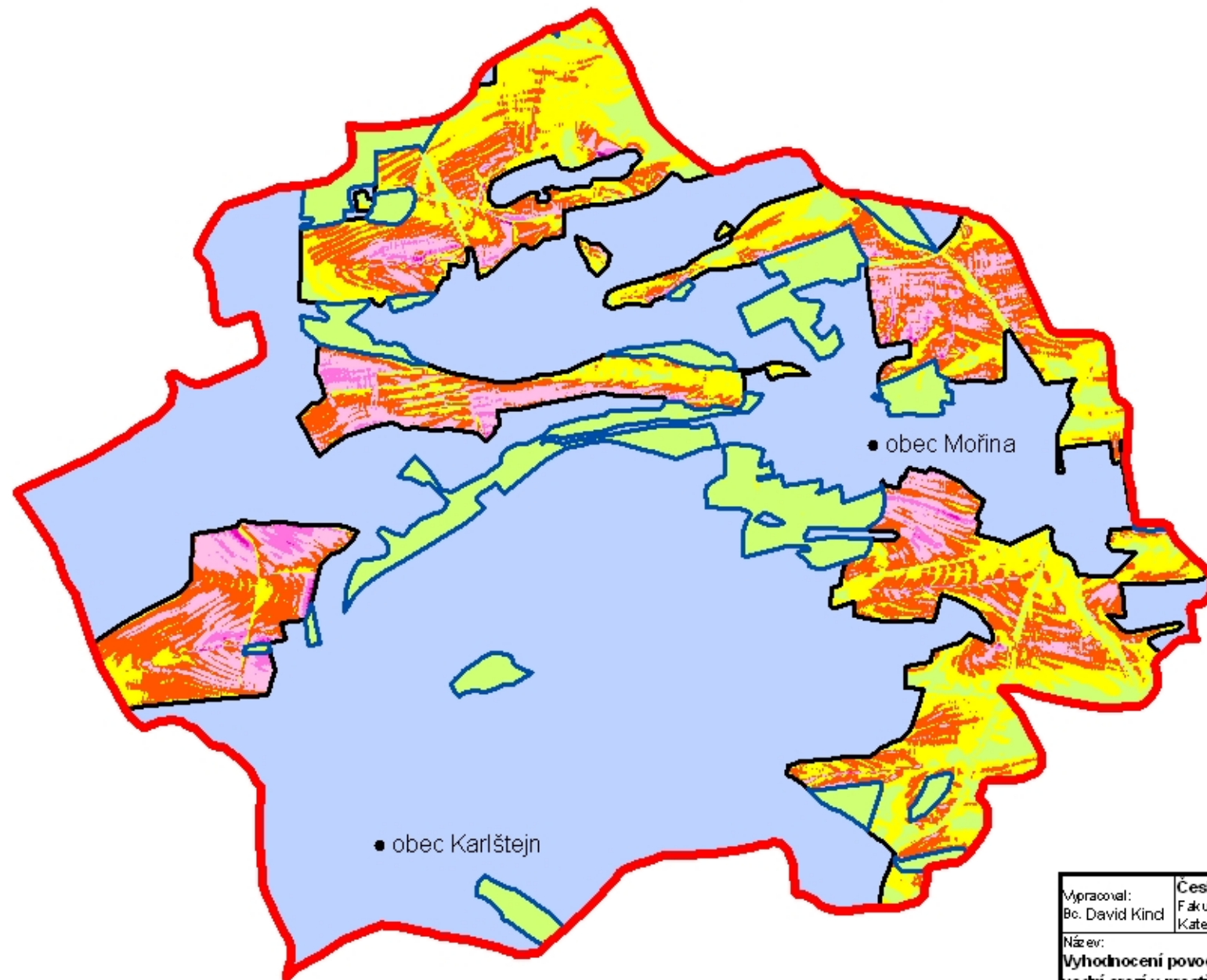
Potenciální ohrožení katastru vodní erozí podle VÚMOP



Dlouhodobý průměrný smyv půdy podle VÚMOP

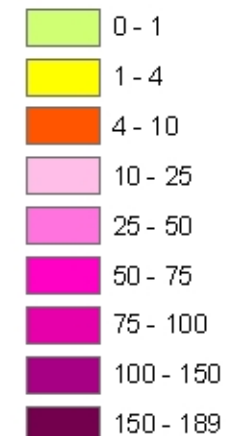


Ztráta půdy vodní erozí v povodí Budňanského potoka varianta č.1 (Současný stav)



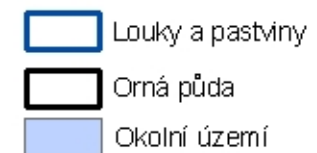
Legenda

Průměrná dlouhodobá ztráta půdy v (t.ha-1.rok-1)



Povodí Budňanského potoka

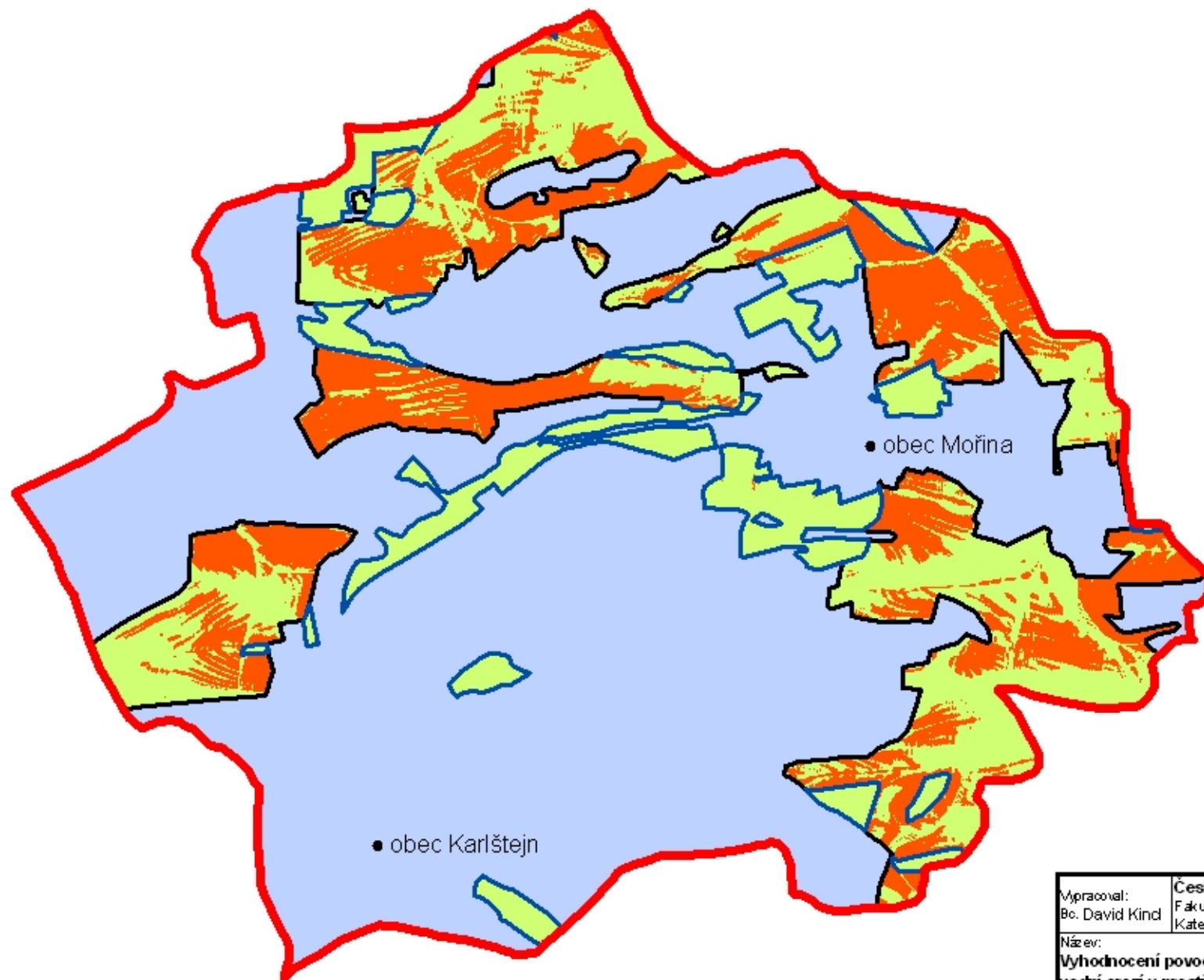
Druhy pozemků



0 250 500 1 000 1 500 2 000 Metrů

Vypracoval: Bc. David Kindl	Česká zemědělská univerzita v Praze Fakulta životního prostředí Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování
Název: Vyhodnocení povodí Budňanského potoka z hlediska ohroženosti vodní erozí v prostředí GIS	
Příloha: Ztráta půdy vodní erozí v povodí Budňanského potoka varianta č.1	Datum: 15.4.2010 Měřítko: 1:15 000 Číslo přílohy: 3

Ohroženost půdy vodní erozí v povodí Budňanského potoka varianta č.1 (Současný stav)



Legenda

Překročení přípustné míry ztráty půdy vodní erozí

- Neohrožená půda 205,68 ha
- Ohrožená půda 128,95 ha
- Povodí Budňanského potoka

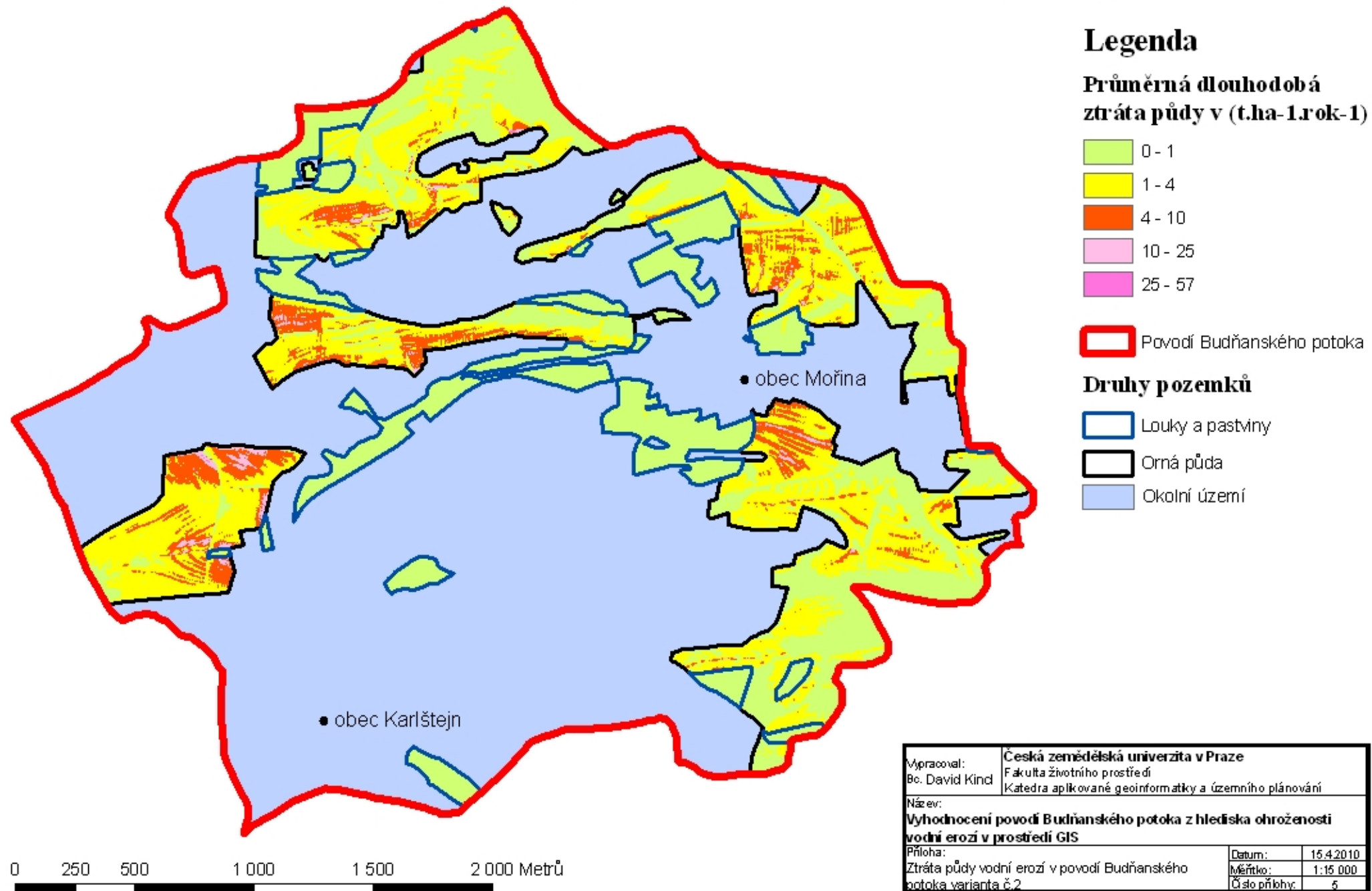
Druhy pozemků

- Louky a pastviny
- Orná půda
- Okolní území

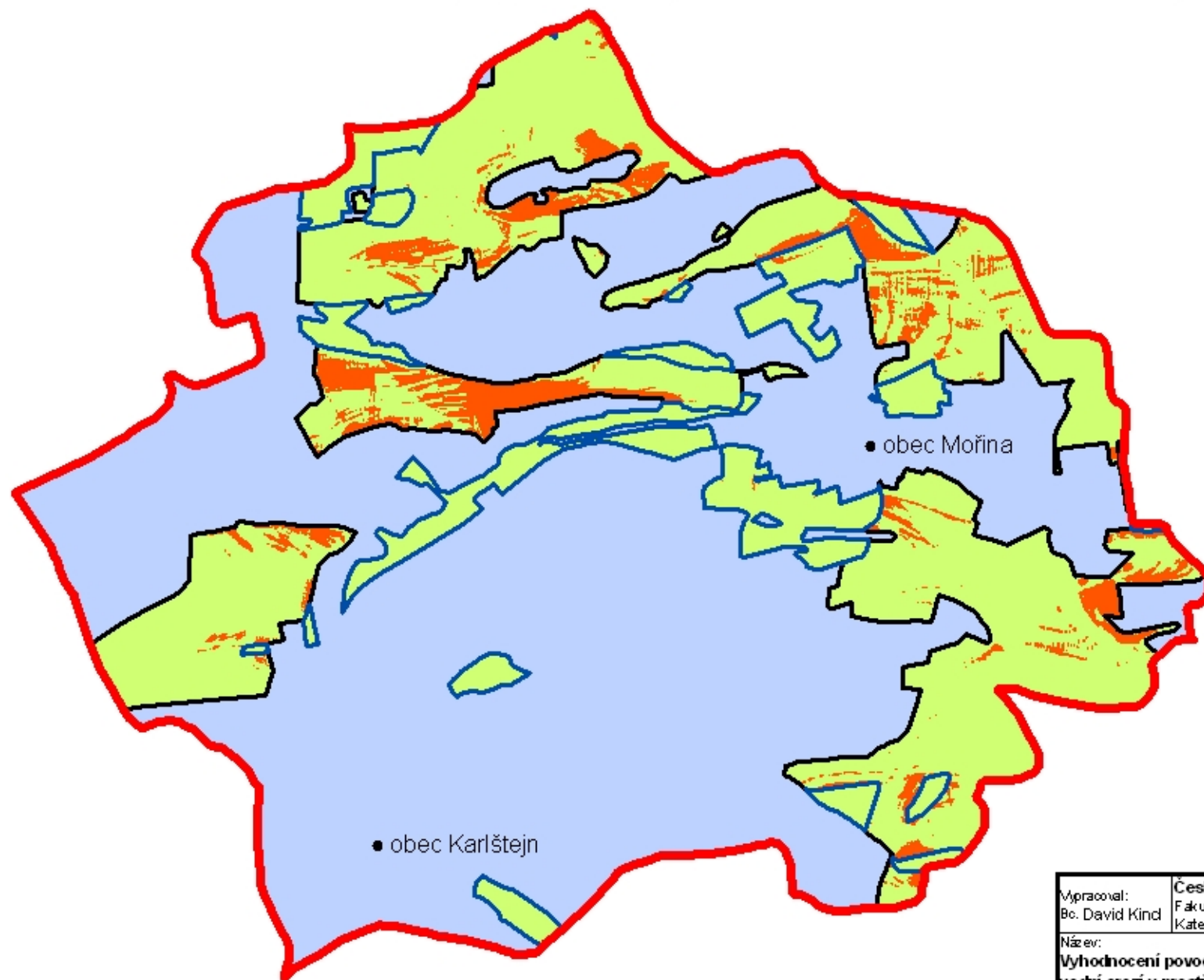
Vypracoval: Bc. David Kindl	Česká zemědělská univerzita v Praze Fakulta životního prostředí Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování
Název: Vyhodnocení povodí Budňanského potoka z hlediska ohroženosti vodní erozí v prostředí GIS	
Příloha: Ohroženost pozemků vodní erozí v povodí Budňanského potoka varianta č.1	Datum: 15.4.2010 Měřítko: 1:15 000 Číslo přílohy: 4

0 250 500 1 000 1 500 2 000 Metrů

Ztráta půdy vodní erozí v povodí Budňanského potoka varianta č.2 (Aplikace protierozního osevního postupu)



Ohroženost půdy vodní erozí v povodí Budňanského potoka varianta č.2 (Aplikace protierozního osevního postupu)



Legenda

Překročení přípustné míry ztráty půdy vodní erozí

- Neohrožená půda 296,78 ha
- Ohrožená půda 38,89 ha
- Povodí Budňanského potoka

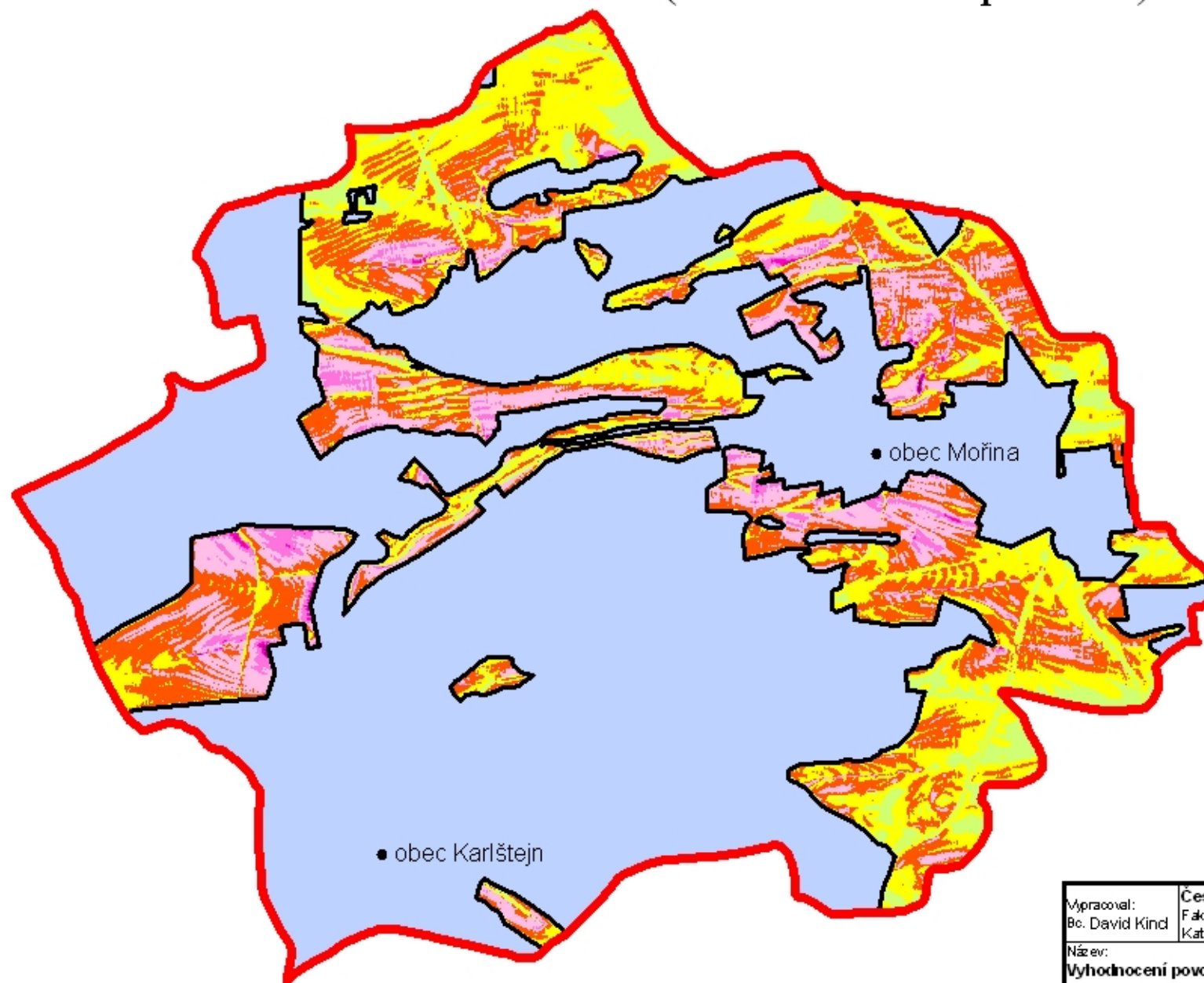
Druhy pozemků

- Louky a pastviny
- Orná půda
- Okolní území

0 250 500 1 000 1 500 2 000 Metrů

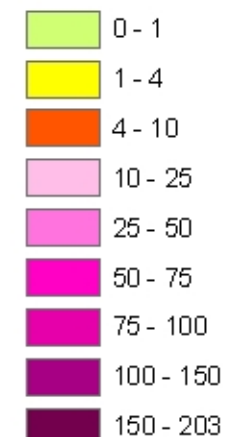
Vypracoval: Bc. David Kindl	Česká zemědělská univerzita v Praze Fakulta životního prostředí Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování
Název: Vyhodnocení povodí Budňanského potoka z hlediska ohroženosti vodní erozí v prostředí GIS	
Příloha: Ohroženost pozemků vodní erozí v povodí Budňanského potoka varianta č.2	Datum: 15.4.2010 Měřítko: 1:15 000 Číslo přílohy: 6

Ztráta půdy vodní erozí v povodí Budňanského potoka varianta č.3 (Zornění luk a pastvin)



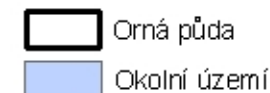
Legenda

Průměrná dlouhodobá ztráta půdy v (t.ha-1.rok-1)



Povodí Budňanského potoka

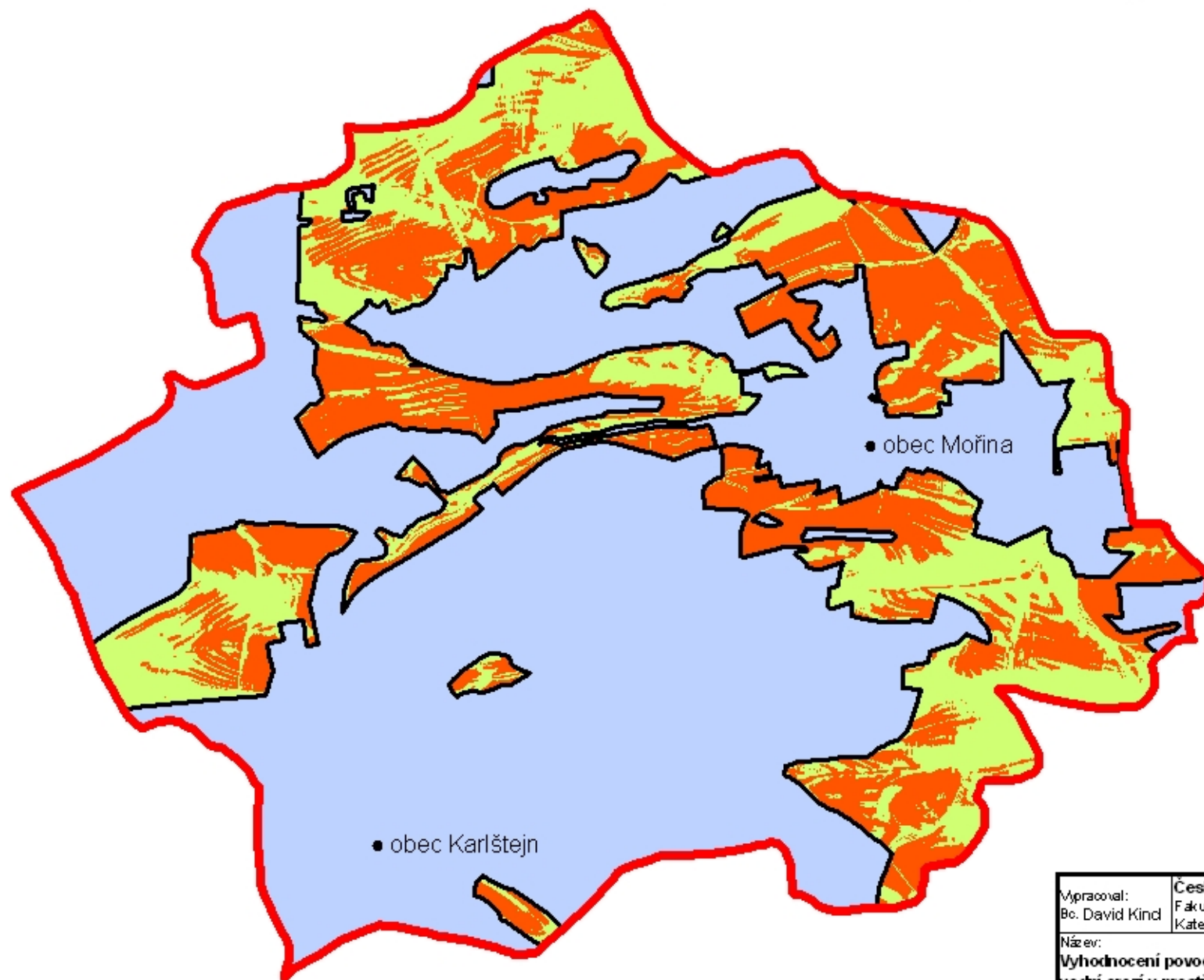
Druhy pozemků



0 250 500 1 000 1 500 2 000 Metrů

Vypracoval: Bc. David Kindl	Česká zemědělská univerzita v Praze Fakulta životního prostředí Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování
Název: Vyhodnocení povodí Budňanského potoka z hlediska ohroženosti vodní erozí v prostředí GIS	
Příloha: Ztráta půdy vodní erozí v povodí Budňanského potoka varianta č.3	Datum: 15.4.2010 Měřítko: 1:15 000 Číslo přílohy: 7

Ohroženost půdy vodní erozí v povodí Budňanského potoka varianta č.3 (Zornění luk a pastvin)



Legenda

Překročení přípustné míry ztráty půdy vodní erozí

- Neohrožená půda 159,37 ha
- Ohrožená půda 174,56 ha
- Povodí Budňanského potoka

Druhy pozemků

- Orná půda
- Okolní území

0 250 500 1 000 1 500 2 000 Metrů

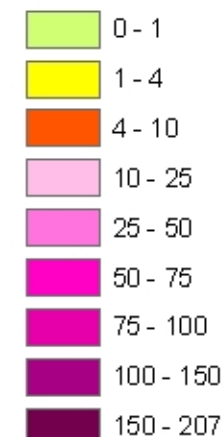
Vypracoval: Bc. David Kindl	Česká zemědělská univerzita v Praze Fakulta životního prostředí Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování
Název: Vyhodnocení povodí Budňanského potoka z hlediska ohroženosti vodní erozí v prostředí GIS	
Příloha: Ohroženost pozemků vodní erozí v povodí Budňanského potoka varianta č.3	Datum: 15.4.2010 Měřítko: 1:15 000 Číslo přílohy: 8

Ztráta půdy vodní erozí v povodí Budňanského potoka varianta č.4 (Odlesnění a zornění lesních půd)



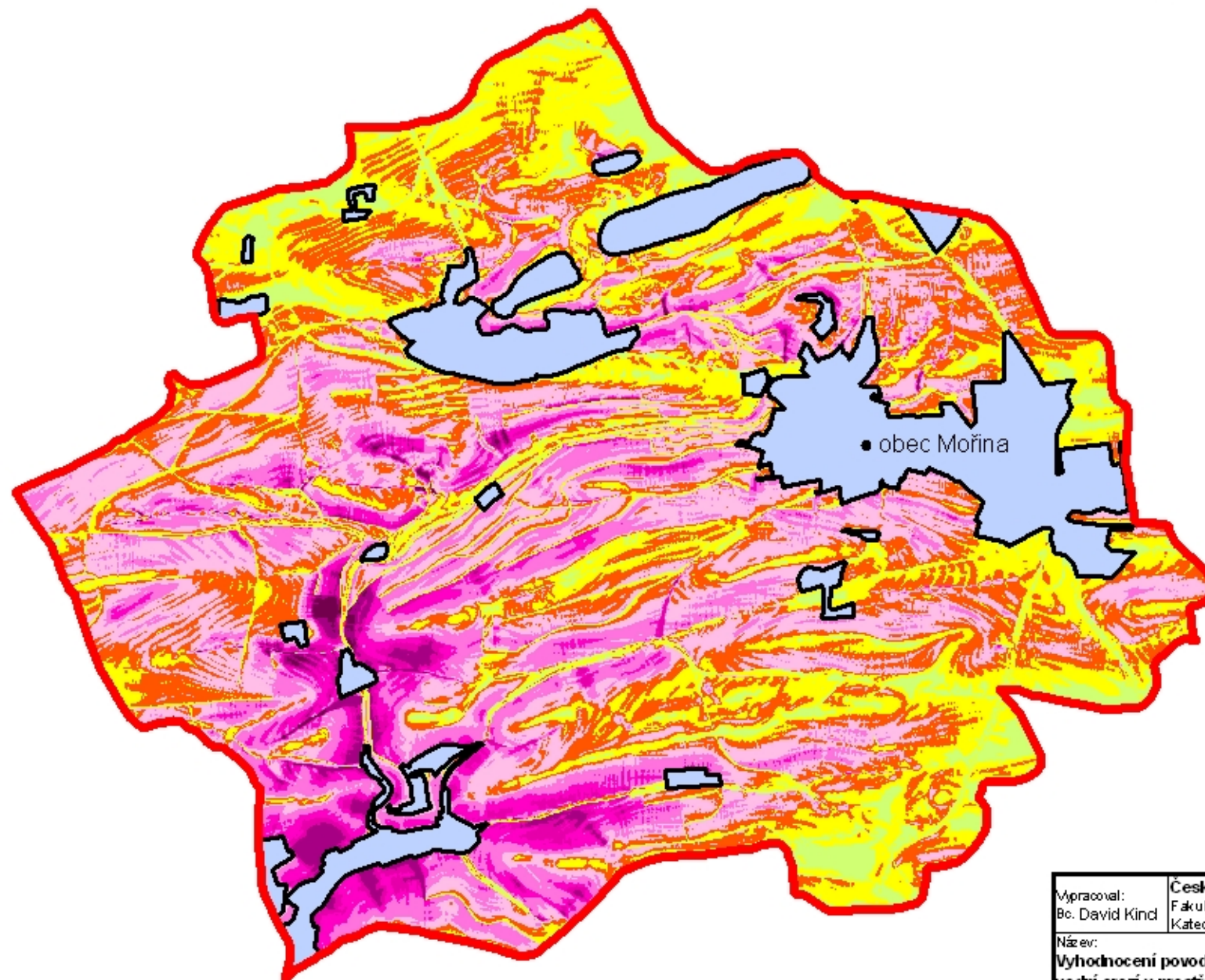
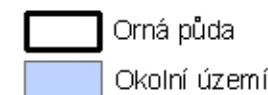
Legenda

Průměrná dlouhodobá ztráta půdy v (t.ha-1.rok-1)



Povodí Budňanského potoka

Druhy pozemků



Vypracoval: Bc. David Kindl	Česká zemědělská univerzita v Praze Fakulta životního prostředí Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování
Název: Vyhodnocení povodí Budňanského potoka z hlediska ohroženosti vodní erozí v prostředí GIS	
Příloha: Ztráta půdy vodní erozí v povodí Budňanského potoka varianta č.4	Datum: 15.4.2010 Měřítko: 1:15 000 Číslo přílohy: 9

0 250 500 1 000 1 500 2 000 Metrů

Přípustná ztráta půdy vodní erozí zjištěna podle bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ)

