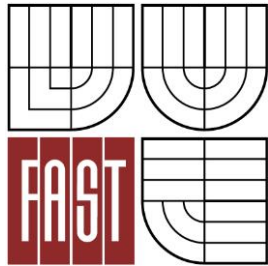




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

# APLIKACE A POROVNÁNÍ STANDARDNÍCH A GIS METOD PRO KVANTIFIKACI EROZNÍHO SMYVU V POVODÍ

APPLICATION AND COMPARISON OF STANDARD AND GIS METHODS FOR THE  
QUANTIFICATION OF EROSION RATE IN GIVEN CATCHMENT AREA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MARTINA KULIHOVÁ

VEDOUcí PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV DUMBROVSKÝ, CSc.

BRNO 2015



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Studijní program</b>        | B3607 Stavební inženýrství                            |
| <b>Typ studijního programu</b> | Bakalářský studijní program s prezenční formou studia |
| <b>Studijní obor</b>           | 3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby            |
| <b>Pracoviště</b>              | Ústav vodního hospodářství krajiny                    |

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

|   |  |
|---|--|
| <b>Student</b>                          | Martina Kulihová   |
| <b>Název</b>                            | Aplikace a porovnání standardních a GIS metod pro kvantifikaci erozního smyvu v povodí |
| <b>Vedoucí bakalářské práce</b>         | prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.   |
| <b>Datum zadání bakalářské práce</b>    | 30. 11. 2014   |
| <b>Datum odevzdání bakalářské práce</b> | 29. 5. 2015  |
| V Brně dne 30. 11. 2014                 |  |

.....  
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

1. Holý M, a kol - Eroze a životní prostředí, ČVUT Praha 1998
2. Janeček, M. a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika. Praha: ČZU 2012, ISBN 978-80-87415-42-9
3. Toy, T.J., Foster, G.R. a Renard, K.G. Soil erosion: processes, prediction, measurement and control. New York: Wiley, 2002, 352 p. ISBN 0-471-38369-4.
4. Hrádek F, - Implementace hydrologického modelu DeSQ, ČZU Praha 1997

## **Zásady pro vypracování**

S využitím hydrologických a erozních extenzí ArcGis - na základě digitálních podkladů proveďte v daném povodí vyhodnocení erozních a odtokových poměrů metodou klasického výpočtu dle univerzální rovnice USLE, metodou USLE2D v prostředí Arcview GIS a s využitím metody ATLAS DMT. V práci teoreticky popište použité metody a porovnejte výsledky jednotlivých analýz.

## **Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....  
prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.  
Vedoucí bakalářské práce

## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce bylo vyhodnocení erozních poměrů na území obce Dolní Dobrouč metodami USLE, USLE2D, modelem WEPP a v prostředí programu Atlas DMT. Každá z metod byla popsána a jednotlivé výsledky výpočtů byly porovnány.

## **Preface**

The aim of this thesis was the evaluation of erosion for the municipality Dolní Dobrouč using methods USLE, USLE2D, WEPP model and in program Atlas DMT. Each of the methods was described and the individual results of the calculations were compared.

## **Klíčová slova**

Dolní Dobrouč, eroze, USLE, USLE2D, WEPP, Atlas DMT.

## **Key Words**

Dolní Dobrouč, erosion, USLE, USLE2D, WEPP, Atlas DMT.

## **Bibliografická citace**

KULIHOVÁ, Martina. *Aplikace a porovnání standardních a GIS metod pro kvantifikaci erozního smyvu v povodí*. Brno, 2015. 54 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29. 5. 2015

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala především vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Miroslavu Dumbrovskému, CSc. za všechnen čas, který mi věnoval. Dále za pomoc, spolupráci a hlavně poskytnuté rady a předávání vlastních zkušeností. Poděkování také patří obci Dolní Dobrouč za ochotnou spolupráci.

# Obsah

|   |    |
|---|----|
| 1. Úvod .....   | 9  |
| 2. Analýza současného stavu území .....                             | 10 |
| 2.1. Obecná charakteristika .....                                   | 10 |
| 2.2. Identifikační údaje .....                                      | 11 |
| 2.3. Podrobný průzkum terénu a jeho vyhodnocení .....               | 11 |
| 2.3.1. Geomorfologické a geologické poměry .....                    | 11 |
| 2.3.2. Prostorová lokalizace druhů půd .....                        | 13 |
| 2.3.3. Pedologické poměry .....                                     | 15 |
| 2.3.4. Hydrologické poměry .....                                    | 17 |
| 2.3.5. Hydropedologické poměry .....                                | 20 |
| 2.3.6. Sklonitostní poměry .....                                    | 21 |
| 2.3.7. Klimatické poměry .....                                      | 22 |
| 3. Charakteristika erozních procesů .....                           | 24 |
| 4. Přehled metod pro analýzu erozního smyvu v povodí .....          | 25 |
| 5. Použité metody a výsledky .....                                  | 26 |
| 5.1. Metoda USLE .....  | 26 |
| 5.1.1. Faktor erozní účinnosti přívalového deště (R) .....          | 27 |
| 5.1.2. Faktor erodovatelnosti půdy (K) .....                        | 28 |
| 5.1.3. Faktor ochranného vlivu vegetace (C) .....                   | 29 |
| 5.1.4. Faktor účinnosti protierozních opatření (P) .....            | 31 |
| 5.1.5. Faktor sklonu svahu (S) .....                                | 32 |
| 5.1.6. Faktor délky svahu (L) .....                                 | 32 |
| 5.1.7. Postup výpočtu erozního smyvu .....                          | 33 |
| 5.2. USLE2D .....   | 35 |
| 5.3. MODEL WEPP .....   | 38 |
| 5.3.1. Teorie modelu WEPP .....                                     | 38 |
| 5.3.2. Postup a výsledky výpočtu erozního smyvu v modelu WEPP ..... | 39 |
| 5.4. Atlas DMT .....  | 43 |
| 5.4.1. Metoda výpočtu a její výsledky .....                         | 43 |
| 6. Porovnání výsledků eroze půdy .....                              | 46 |
| 7. Závěr .....  | 49 |
| 8. Použité zdroje .....   | 50 |
| 9. Seznam použitých zkratk a označení .....                         | 51 |
| 10. Seznam obrázků, tabulek a grafů .....                           | 53 |



# 1. Úvod

Každý rok ubyde ve světě tisíce km<sup>2</sup> zemědělské půdy a ornice, která je považována za nenahraditelný přírodní zdroj. Hlavním důvodem je nevhodné hospodaření, zejména intenzivní zemědělská činnost, která je důsledkem rozrušení půdy a následně jejího úbytku.

Proces, který půdu rozrušuje, se nazývá eroze a vede krajinu k přirozeným změnám. Eroze ochuzuje zemědělské půdy o nejurodnější část - ornici, která bohužel již u nás v mnoha případech zcela chybí, a hospodaří se na níže položených půdních horizontech, které mají výrazně horší vlastnosti než původní vrchní humusová vrstva. Eroze také zhoršuje fyzikálně-chemické vlastnosti půd, poškozují plodiny a kultury, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a vážně ohrožuje intravilány měst a obcí, kde dokáže způsobit mnohamiliónové škody.

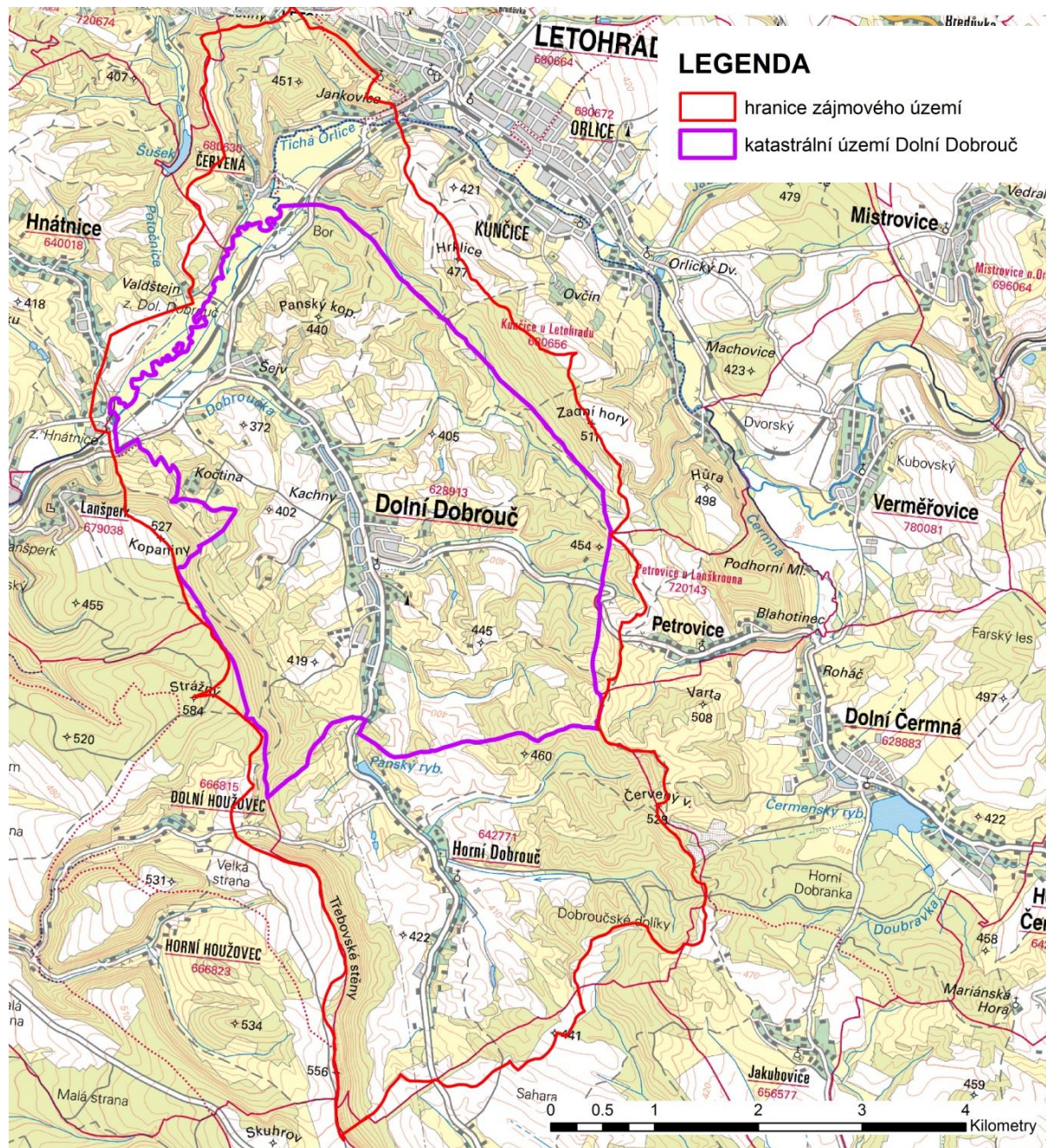
Tato bakalářská práce se zaměřila na erozi půdy způsobenou vodním faktorem. V současné době je problematika vodní eroze rozšířeným pojmem, jelikož dochází k častému znehodnocování a nenávratnému poškozování půdy. V České Republice je zhruba 50% zemědělské půdy ohroženo vodní erozí. Za posledních 30 let se degradace půdy vlivem vodní eroze výrazně zrychlila a stala se celosvětovým problémem. Vodní eroze rozrušuje povrch půdy působením vody jako následek intenzivních srážek nebo během rychlého tání sněhu, kdy voda stéká po povrchu a odnáší svrchní vrstvu půdy. Intenzita vodní eroze je závislá na charakteru srážek a povrchového odtoku, půdních poměrech, morfologii území, vegetačních poměrech a způsobu hospodaření na pozemcích.

Bakalářská práce se zaměřila na potřebnou analýzu katastrálního území Dolní Dobrouč, především na vyhodnocení erozních poměrů na zemědělských půdách použitím různých způsobů výpočtů. Pro výpočet eroze je k dispozici hned několik metod, které se postupem času stále vyvíjejí. Práce má porovnat vybrané metody výpočtu erozního smyvu a pomocí dosažených výsledků na konkrétním území dojít k závěru, která z metod je nejvýhodnější a nejpřesnější. Dosažené výsledky by později mohly sloužit k návrhu potřebných protierozních opatření v řešeném území, která by pomohla bezpečnému odvedení vody v krajině a zamezila škodám jak v intravilánu, tak na zemědělských plochách.

## 2. Analýza současného stavu území

### 2.1. Obecná charakteristika

Obec Dolní Dobrouč se nachází v okrese Ústí nad Orlicí ve východních Čechách. Zájmové území leží asi 8 km severovýchodně od města Ústí nad Orlicí. Rozkládá se v údolí podél toku Dobroučka, který je levostranným přítokem Tiché Orlice, o délce cca 8,8 kilometrů. Obec spadá pod správu Pardubického kraje.



Obr. 1 Přehledná situace zájmového území [1]

## 2.2. Identifikační údaje

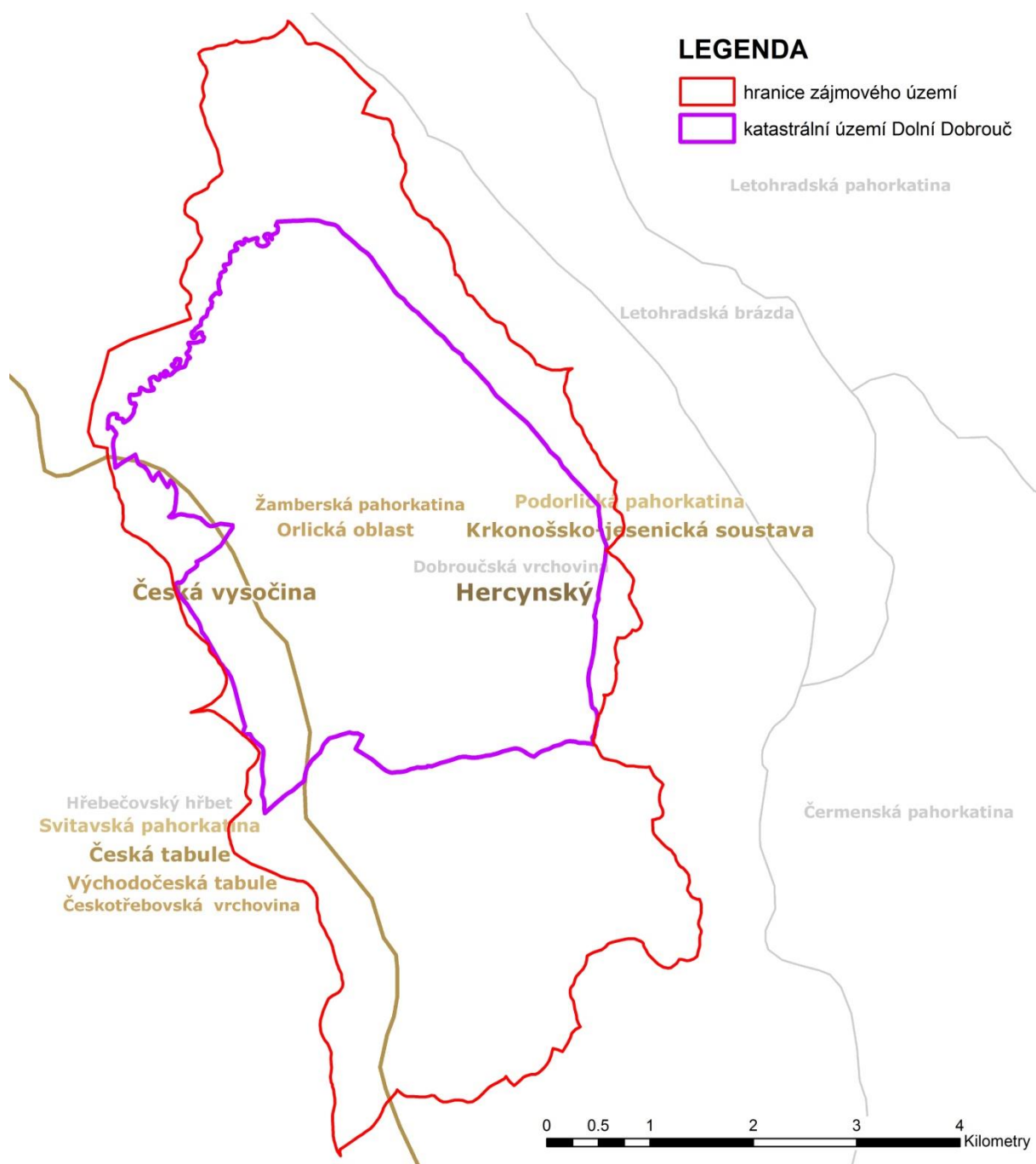
|                                  |                                 |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Zájmové území:                   | katastrální území Dolní Dobrouč |
| Status:                          | obec                            |
| Region soudržnosti:              | Severovýchod                    |
| Kraj:                            | Pardubický                      |
| Okres:                           | Ústí nad Orlicí                 |
| Oblast:                          | Podorlická pahorkatina          |
| Průměrná nadmořská výška:        | 365 m n. m.                     |
| Nejvyšší vrchol:                 | Strážný, 584 m n. m.            |
| Rozloha zájmového území:         | 30,72 km <sup>2</sup>           |
| Počet obyvatel v obci:           | 2875                            |
| Obec s pověřeným obecním úřadem: | Ústí nad Orlicí                 |
| Obec s rozšířenou působností:    | Ústí nad Orlicí                 |

## 2.3. Podrobný průzkum terénu a jeho vyhodnocení

Před zahájením výpočtu erozních poměrů bylo třeba provést podrobný průzkum zájmového území a shromáždění veškerých potřebných podkladů. Průzkum byl proveden tak, aby byl zjištěný skutečný stav zájmového katastrálního území Dolní Dobrouč a také lokalit na něj navazujících, kdy byla hranice zájmového území posunuta na orografickou rozvodnici povodí toku Dobroučka. Průzkum byl zaměřen na využívání zemědělské půdy, ochrany půdy, krajinného prostředí, tedy všech faktorů, které mohou ovlivnit vyhodnocení erozních poměrů v obci. Při průzkumu probíhala spolupráce s obecním úřadem v Dolní Dobrouči a s příslušným zemědělským družstvem. Pro potřeby podrobného průzkumu byly využívány podklady geodetické, mapové, metodické a další.

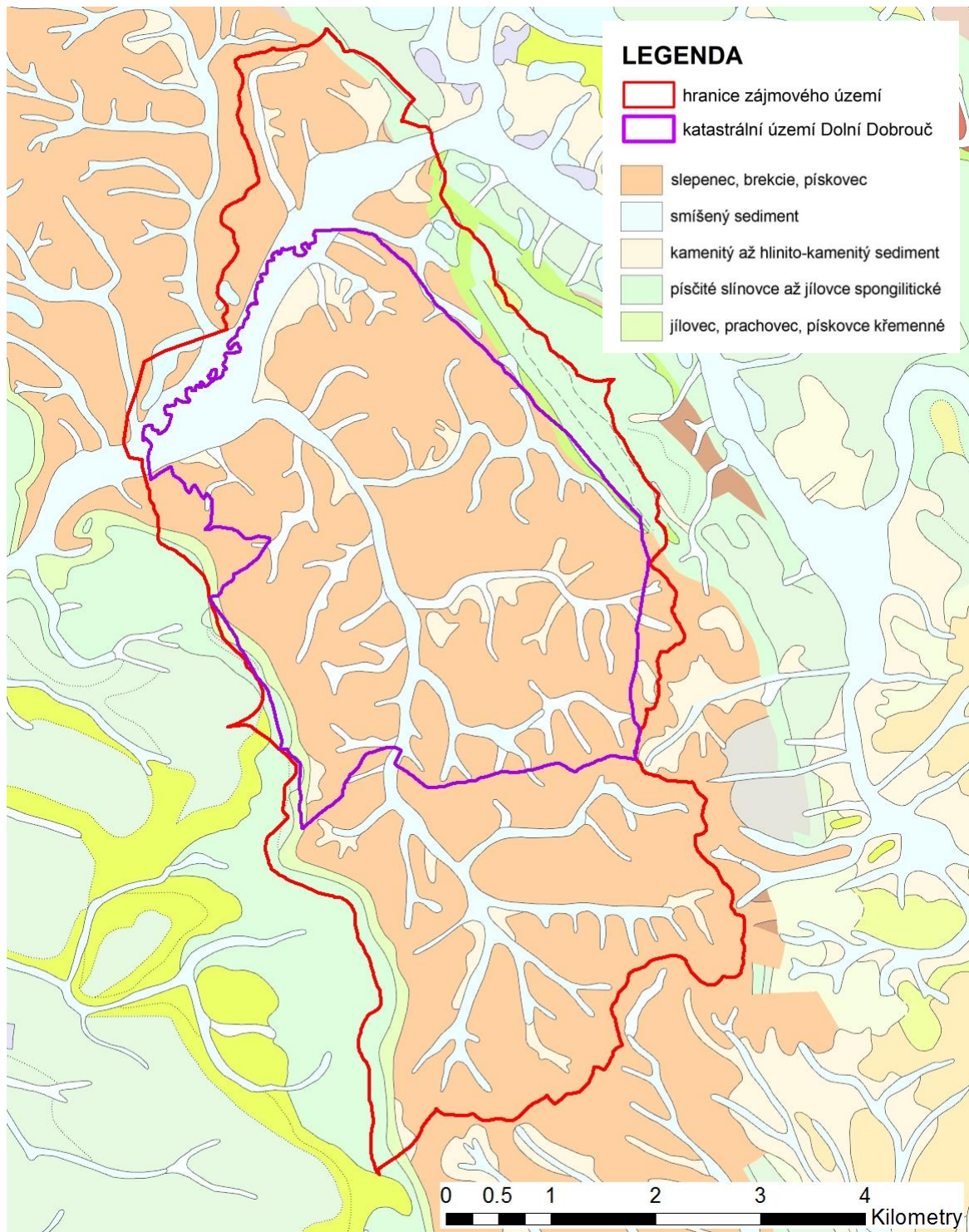
### 2.3.1. Geomorfologické a geologické poměry

Řešené katastrální území se nachází v geomorfologické provincii Česká Vysočina v Hercynském systému. Při podrobnějším geomorfologickém členění se území dělí na dvě části. Převažující část území spadá do subprovincie Krkonošsko-jesenické soustavy, Orlické oblasti, do celku Podorlická pahorkatina a podcelku Žamberská pahorkatina. Okrsek se nazývá Dobroučská vrchovina. Malá část území na západní straně patří do subprovincie Česká tabule, oblasti Východočeské tabule, celku Svitavské pahorkatiny a podcelku Českotřebovské vrchoviny. Okrskem je Hřebečovský hřbet. Geomorfologické členění je zobrazeno na obr. 2.



Obr. 2 Geomorfologické členění zájmového území [2]

Podle obr. 3 spadá geologicky obec Dolní Dobrouč do regionu Českého Masívu. Převažuje Mezozoikum Českého Masívu, které obsahuje horniny jako slepence, jílovce, prachovce a pískovce. V severovýchodní části katastrálního území se vyskytuje také Paleozoikum, které se vyznačuje prachovými jílovci, pískovci, arkózou a slepenci.

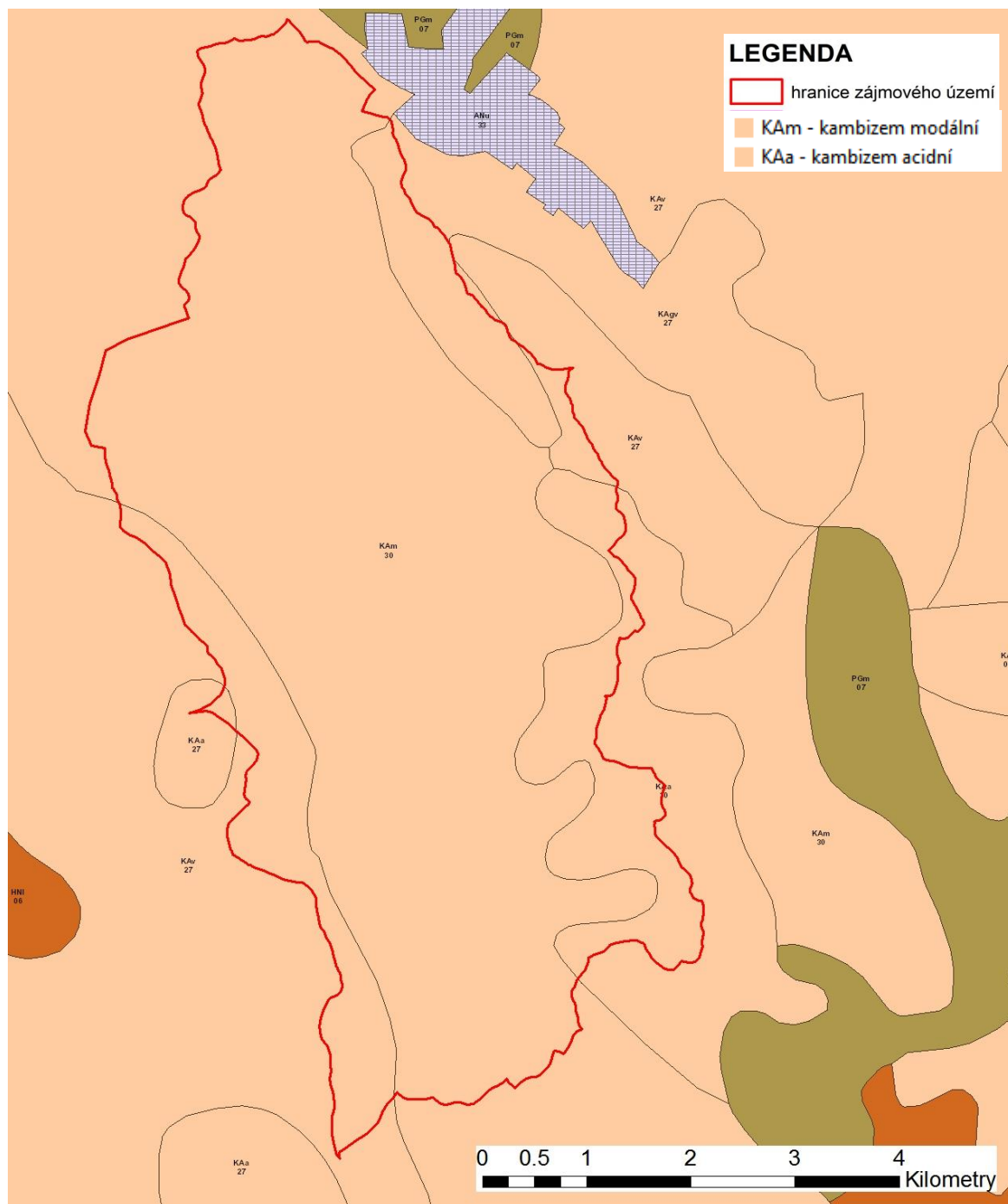


Obr. 3 Geologické členění zájmového území [3]

### 2.3.2. Prostorová lokalizace druhů půd

V zájmové lokalitě se nachází několik druhů půd (obr. 4). Převažuje zde kambizem, která je nejrozšířenějším půdním typem v České Republice. Na řešeném území se objevuje hned několik druhů kambizemě, a to modální, oglejená a kyselá. Půdní

částice kambizemě jsou obarveny do hněda a půda je obohacena o velké množství jílu. Ze zemědělského hlediska je jejich využití komplikováno častým umístěním na svazích, které jsou náchylné k erozi, a dále malou mocností profilu a vysokým obsahem skeletu. Dalším půdním zástupcem je fluvizem, která se nachází v nivách vodních toků. Tyto půdy patří mezi fluvisoly, které se vyznačují nepravidelným obsahem organické hmoty a vrstevnatostí profilu. V menším množství je zde zastoupen také glej fluvický, který vzniká z nivních sedimentů, alespoň dříve zaplavovaných. Je to půdní typ občas zcela prosycený vodou.



Obr. 4 Pedologické členění zájmového území [4]

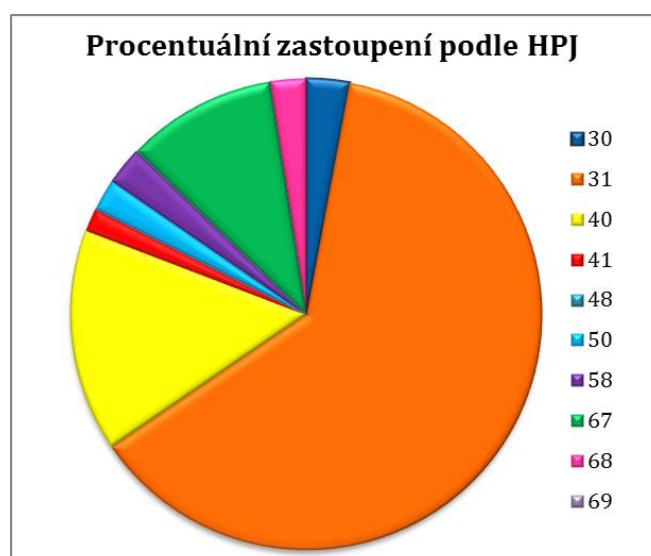
### 2.3.3. Pedologické poměry

Pro přesnější rozbor pedologických poměrů v zájmovém území bylo použito bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ), která je označována pětímístným kódem. Druhá a třetí číslice určuje zařazení půdy do hlavní půdní jednotky klasifikační soustavy (HPJ). Těch je v České Republice 78, označovány jako 01 - 78. Hlavní půdní jednotka je účelové seskupení půdních forem, příbuzných ekologickými vlastnostmi, které jsou charakterizovány morfogenetickým půdním typem, půdotvorným substrátem, zrnitostí a u některých hlavních půdních jednotek výraznou svažitostí, hloubkou půdního profilu, skeletovitostí a stupněm hydromorfismu. [5]

V zájmovém území převažují hlavní půdní jednotky s číslem 31, což jsou lehké a výsušné půdy. V okolí nivy toku Dobroučka a jejích přítoků se objevují půdy glejové, které jsou naopak těžké a těžce odvodnitelné. Rozložení HPJ zájmového území zobrazuje obr. 5.

Tab. 1 Charakteristika pedologických poměrů

| HPJ | plocha [km <sup>2</sup> ] | zastoupení [%] |
|-----|---------------------------|----------------|
| 30  | 0.32                      | 2.92           |
| 31  | 6.88                      | 62.56          |
| 40  | 1.68                      | 15.27          |
| 41  | 0.17                      | 1.57           |
| 48  | 0.00                      | 0.00           |
| 50  | 0.25                      | 2.24           |
| 58  | 0.29                      | 2.65           |
| 67  | 1.13                      | 10.29          |
| 68  | 0.27                      | 2.48           |
| 69  | 0.00                      | 0.01           |



Seznam vyskytujících se HPJ v zájmovém území: [6]

**30** - Kambizemě eubazické až mezobazické na svahovinách sedimentárních hornin - pískovce, permokarbon, flyš, středně těžké lehčí, až středně skeletovité, vláhově příznivé až sušší

**31** - Kambizemě modální až arenické, eubazické až mezobazické na sedimentárních, minerálně chudých substrátech - pískovce, křídové opuky, permokarbon, vždy však lehké, bez skeletu až středně skeletovité, málo vododržné, výsušné

**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

**41** - Půdy jako u HPJ 40 avšak zrnitostně středně těžké až velmi těžké s poněkud příznivějšími vláhovými poměry

**48** - Kambizemě oglejené, rendziny kambické oglejené, pararendzinykambické oglejené a pseudogleje modální na opukách, břidlicích, permokarbonu nebo flyši, středně těžké lehčí až středně těžké, bez skeletu až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému, převážně jarnímu zamokření

**50** - Kambizemě oglejené a pseudogleje modální na žulách, rulách a jiných pevných horninách (které nejsou v HPJ 48,49), středně těžké lehčí až středně těžké, slabě až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření

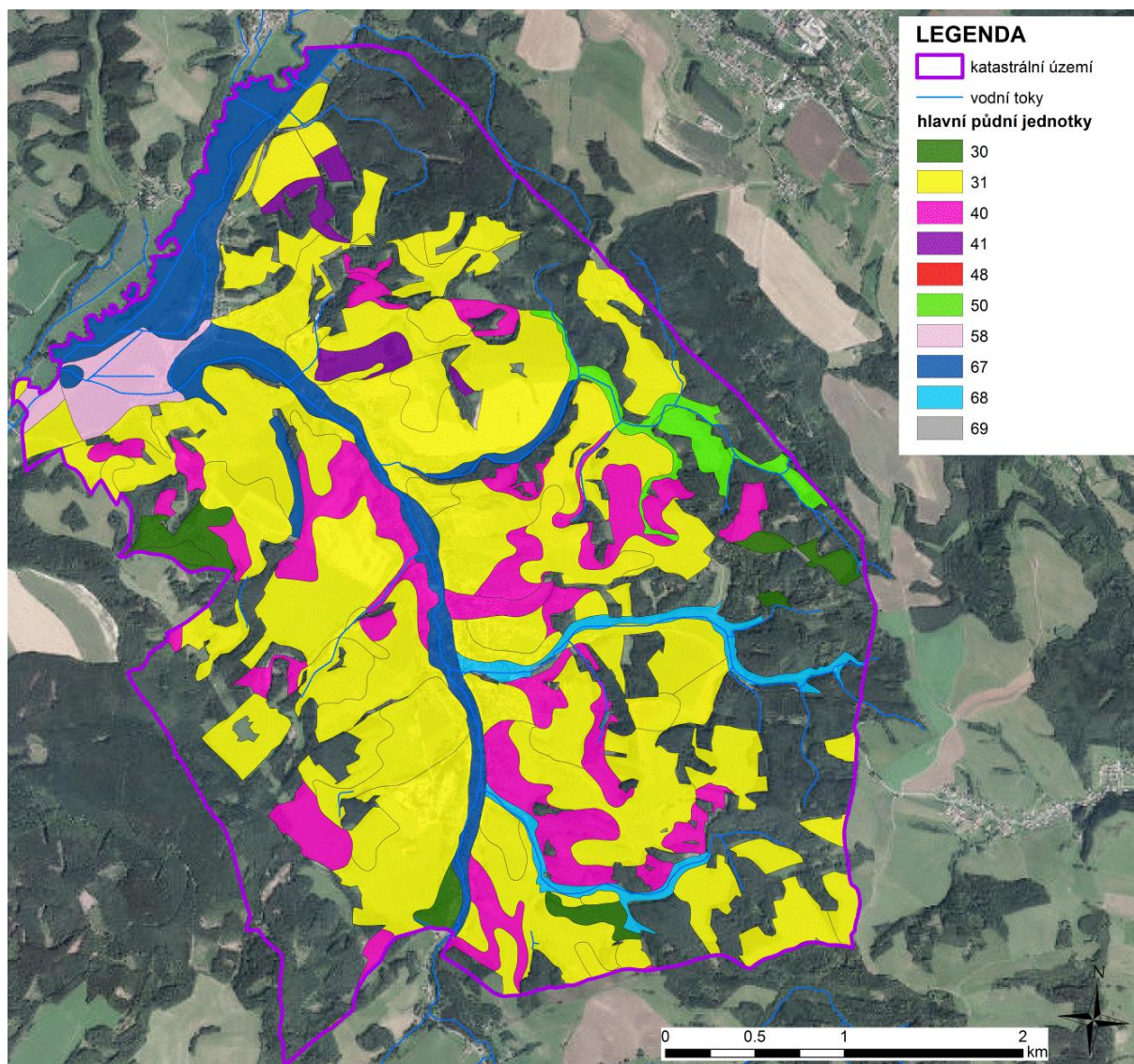
**58** - Fluvizemě glejové na nivních uloženinách, popřípadě s podlozím teras, středně těžké nebo středně těžké lehčí, pouze slabě skeletovité, hladina vody níže 1 m, vláhové poměry po odvodnění příznivé

**67** - Gleje modální na různých substrátech často vrstevnatě uložených, v polohách širokých depresí a rovinných celků, středně těžké až těžké, při vodních tocích závislé na výšce hladiny toku, zaplavované, těžko odvodnitelné

**68** - Gleje modální i modální zrašeliněné, glejehistické, černice glejové zrašelinělé na nivních uloženinách v okolí menších vodních toků, půdy úzkých depresí včetně svahů, obtížně vymezitelné, středně těžké až velmi těžké, nepříznivý vodní režim

**69** - Gleje akvické, gleje akvické zrašeliněné a gleje histické na nivních uloženinách nebo svahovinách, převážně těžké, výrazně zamokřené, půdy depresí a rovinných celků



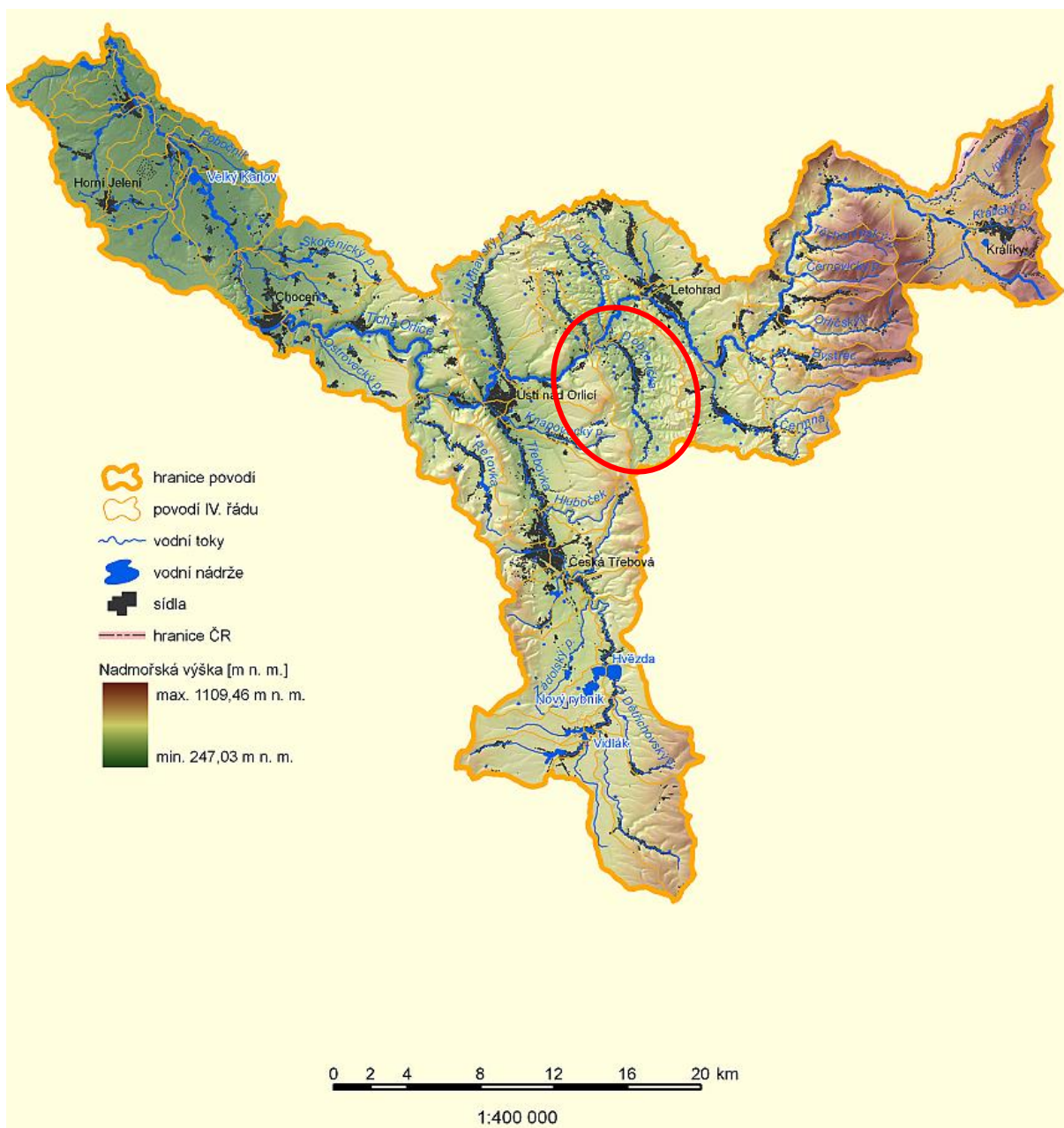


Obr. 5 Mapa hlavních půdních jednotek

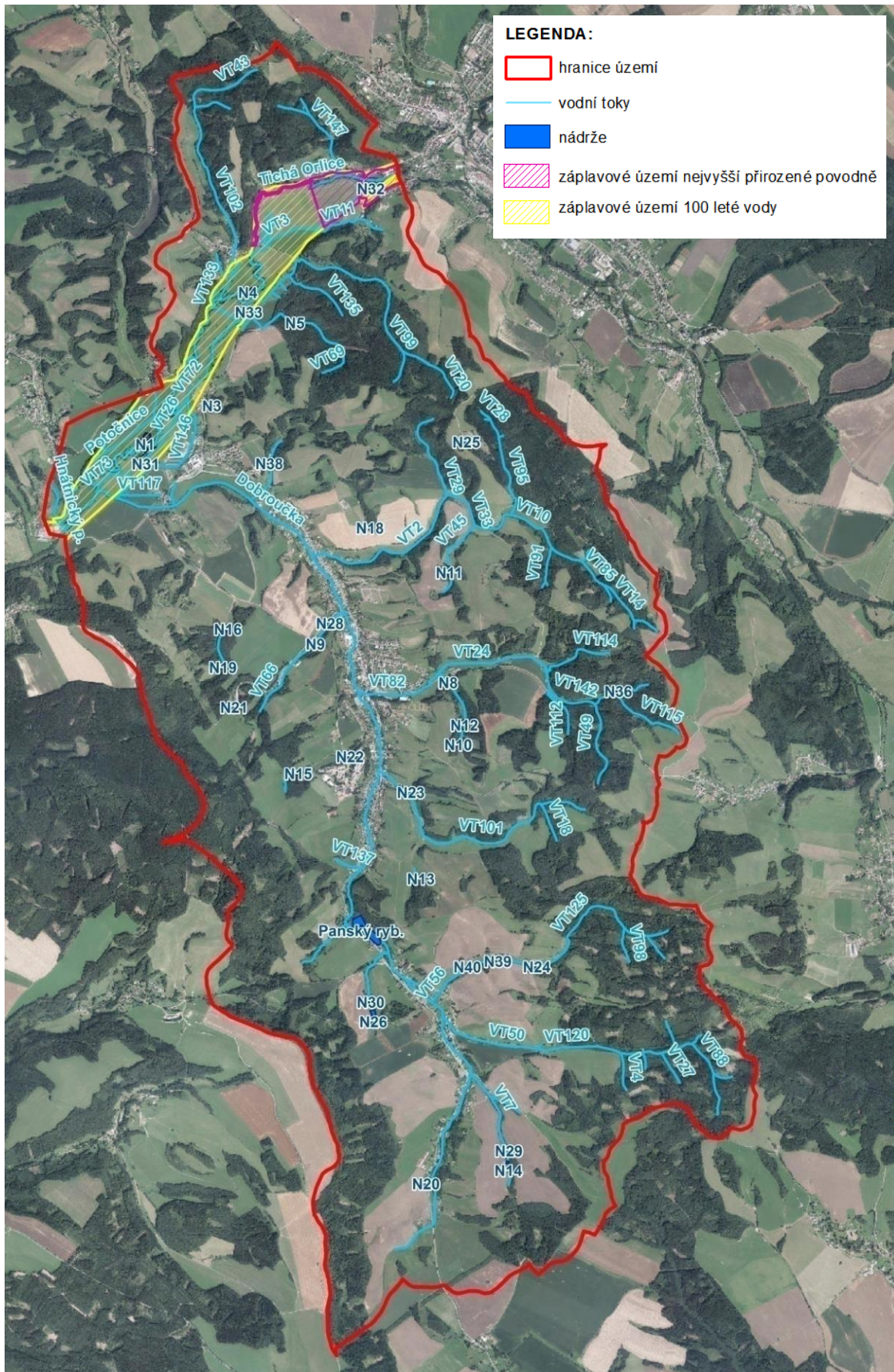
#### 2.3.4. Hydrologické poměry

Zájmovým územím protéká potok Dobroučka o délce přibližně 8,8 km. Číslo hydrologického pořadí je 1-02-02-028. Dobroučka je levostranný přítok Tiché Orlice (severozápadně od Dolní Dobrouče), která náleží do oblasti povodí Horního a Středního Labe. Celková rozloha povodí Tiché Orlice je 756,4 km<sup>2</sup> a její celková délka je 101,75 km. Tichá Orlice spolu s Divokou Orlicí po soutoku u Albrechtic nad Orlicí tvoří řeku Orlici. Řeka Tichá Orlice pramení zhruba 700 m jihozápadně od vrcholu hory Jeřáb, ve výšce 865 m n. m. nedaleko zemské hranice s Moravou. Část nivy patří do chráněného území, které se nazývá Přírodní park Orlice. Jediným významným přítokem Tiché Orlice je říčka Třebovka.

Na obr. 7 můžeme vidět veškeré nádrže a vodní toky v řešené oblasti. Nádrží je v zájmovém území 40, kdy nejvýznamnější je Panský rybník. Vodních toků je na území celkem 105. Hlavním tokem je Dobroučka, která má 10 bezejmenných pravostranných přítoků a 6 levostranných. Ostatní bezejmenné toky se vlévají do zmíněných 16 hlavních přítoků Dobroučky. Dále se dle obr. 7 v Dolní Dobrouči vyskytují oblasti ohrožené záplavami. Záplavové území 100 leté vody i záplavové území nejvyšší přirozené povodně se nachází v severní části řešeného území v okolí toku Tichá Orlice. Záplavové území 100 leté vody zaujímá plochu 1,4 miliónů m<sup>2</sup>, záplavové území nejvyšší přirozené povodně 205 tisíc m<sup>2</sup>.



Obr. 6 Přehledná mapa povodí Tiché Orlice [7] s vyznačením zájmového území



Obr. 7 Hydrografická síť a záplavová území

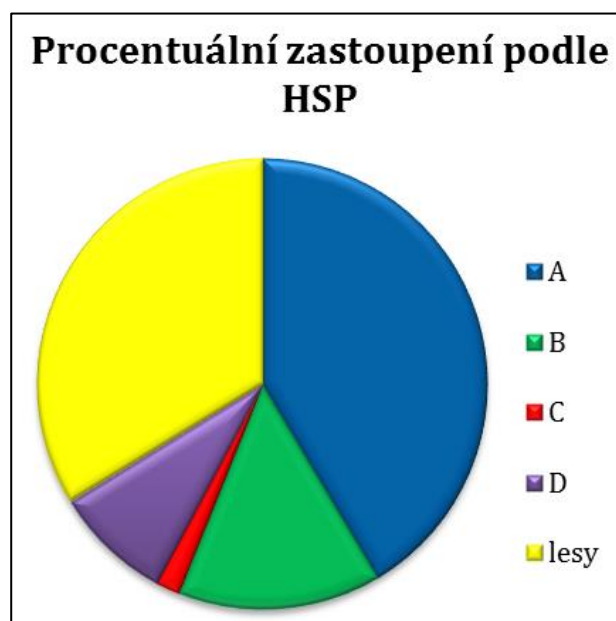
### 2.3.5. Hydropedologické poměry

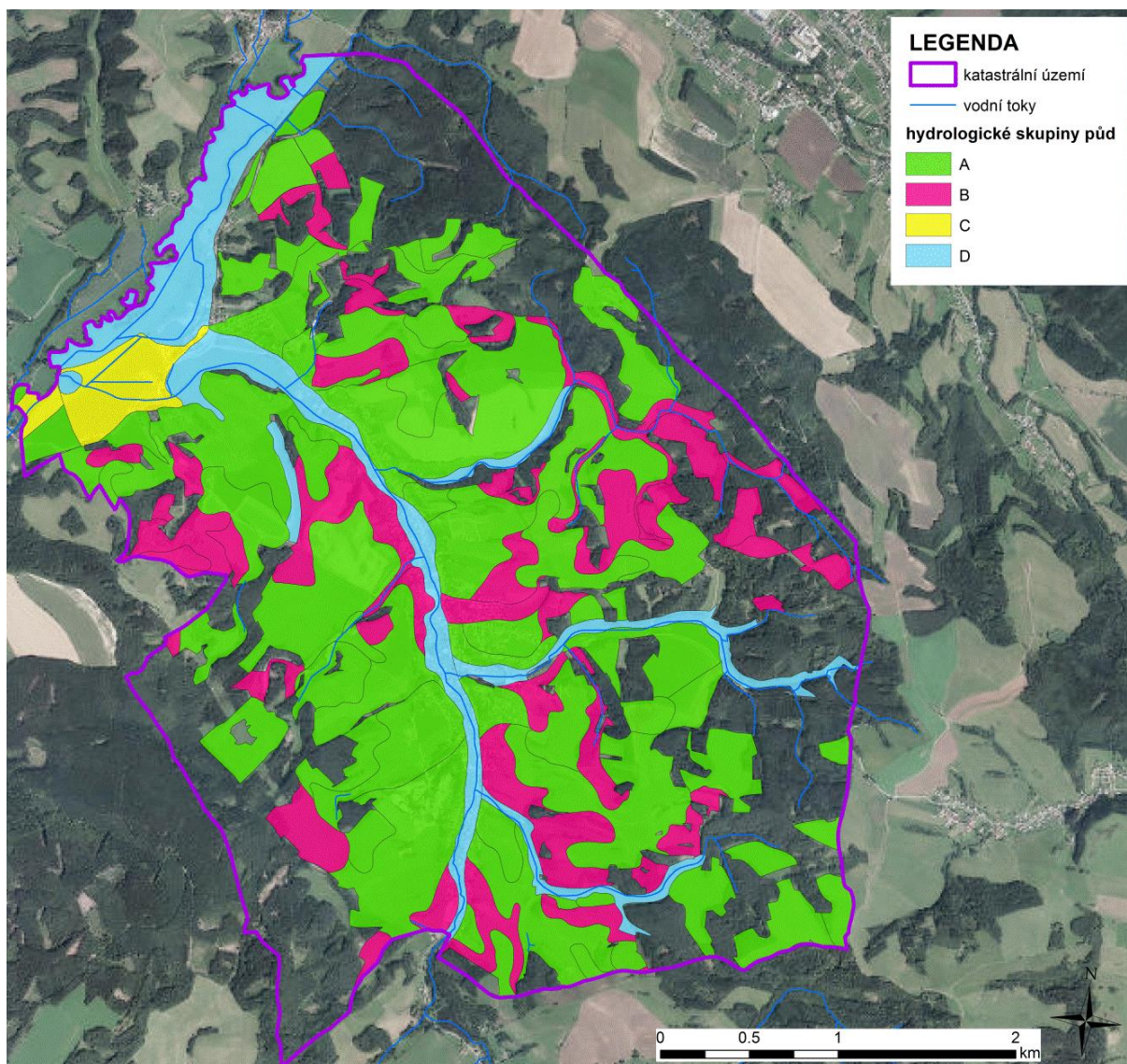
Infiltrační schopnost půdy významně ovlivňují pedologické poměry. Podle minimální rychlosti infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém sycení se půdy rozdělují do 4 skupin: A, B, C, D, podle kterých lze určit hydrologické vlastnosti půdy. [8]

V řešeném katastrálním území se vyskytuje v zastoupení 33,73% lesní porost. 41,46% plochy území zaujímají půdy skupiny A, které se charakterizují vysokou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení půdy vodou ( $> 0,20$  mm/min). Jedná se především o dobře odvodněné a hluboké písčité a štěrky. Půdy skupiny B se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení ( $0,10 - 0,20$  mm/min) zaujímají 14,58% plochy zájmového území. Skupina B zahrnuje především hlinitopísčité a jílovitohlinité půdy, které jsou středně až dobře odvodněné. Dalších 1,76% plochy území zaujímají půdy skupiny C, které při úplném nasycení mají nízkou rychlost infiltrace ( $0,05 - 0,10$  mm/min). Patří k nim půdy jílovitohlinité, jílovité a půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu. Poslední skupina půd D se objevuje na 8,47% území. Do této skupiny patří půdy už jen s velmi malou rychlostí infiltrace ( $< 0,05$  mm/min), jako jsou jíly, půdy s vysokou hladinou podzemní vody anebo mělké půdy nad téměř nepropustným podložím. Rozložení hydrologických skupin půd na zájmovém území je zobrazeno na obr. 8 níže.

Tab. 2 Procentuální zastoupení podle HSP

| HSP  | plocha [km <sup>2</sup> ] | zastoupení [%] |
|------|---------------------------|----------------|
| A    | 6.883                     | 41.46          |
| B    | 2.421                     | 14.58          |
| C    | 0.292                     | 1.76           |
| D    | 1.406                     | 8.47           |
| lesy | 5.601                     | 33.73          |

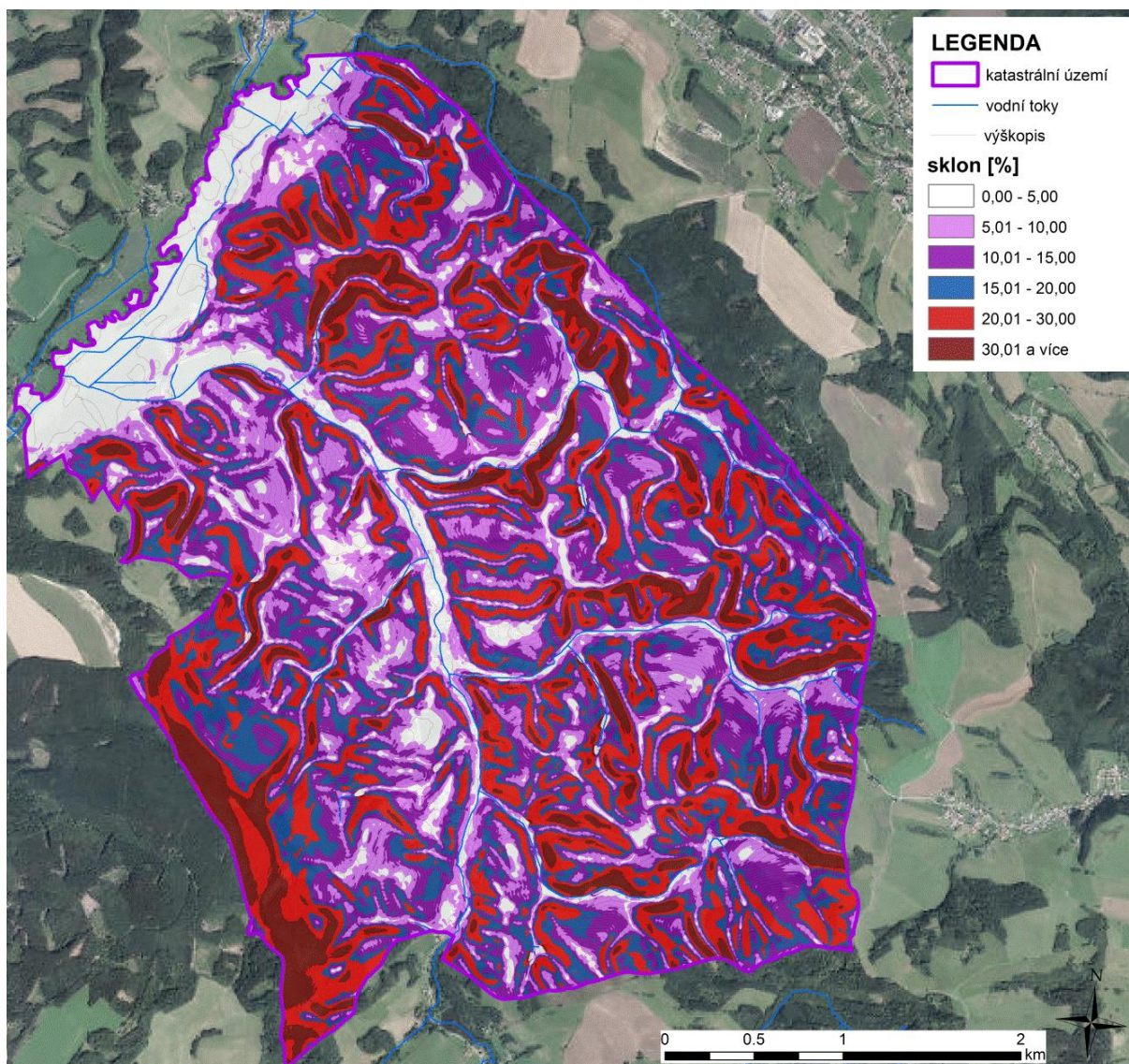




Obr. 8 Mapa hydrologických skupin půd

### 2.3.6. Sklonitostní poměry

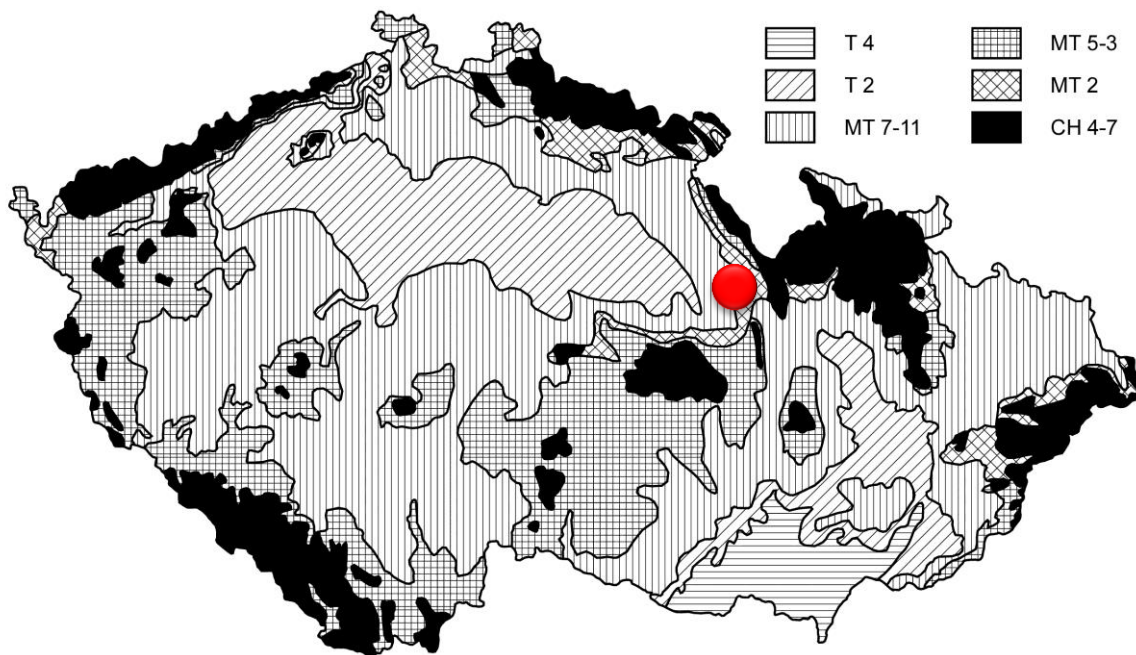
Zájmové území je velice členité s různými sklonitostními poměry. Rovinatý terén nebo mírně nakloněný se nachází především v okolí vodních toků, kdy sklon dosahuje maximálně 5%. V zájmové oblasti ale převažuje sklonitost větší a v nejvyšších bodech území se vyskytují prudké svahy o sklonu více než 30% (viz obr. 9).



Obr. 9 Mapa sklonitostních poměrů

### 2.3.7. Klimatické poměry

Zájmové území z hlediska klimatu leží ve Svitavském bioregionu a na severním okraji přechází v Orlickohorský bioregion. Dle Quitta leží nejteplejší okraje v mírně teplé oblasti MT 9, hojně je zastoupena MT 7 a ve vyšších polohách i MT 3 a MT 2 na návětrných svazích. Bioregion je tedy v průměru mírně teplý, okrajově chladnější. Oblast je poměrně vlhká, moravská strana leží v mírném srážkovém stínu. Průměrná teplota se zde pohybuje kolem 7°C a průměrný úhrn srážek kolem 800 mm.



Obr. 10 Mapa klimatických oblastí [9] s vyznačením zájmového území

Zjištěné klimatické údaje z nejbližší meteorologické stanice Ústí nad Orlicí jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 Srážkový úhrn a průměrné teploty pro Ústí nad Orlicí

| Srážky:  |       | Průměrné teploty: |         |
|----------|-------|-------------------|---------|
| Leden    | 55 mm | Leden             | -2.1 °C |
| Únor     | 40 mm | Únor              | -1.1 °C |
| Březen   | 44 mm | Březen            | 2.9 °C  |
| Duben    | 41 mm | Duben             | 7.6 °C  |
| Květen   | 66 mm | Květen            | 12.8 °C |
| Červen   | 80 mm | Červen            | 15.7 °C |
| Červenec | 89 mm | Červenec          | 17.4 °C |
| Srpen    | 75 mm | Srpen             | 17.2 °C |
| Září     | 61 mm | Září              | 13 °C   |
| Říjen    | 46 mm | Říjen             | 8.2 °C  |
| Listopad | 52 mm | Listopad          | 3 °C    |
| Prosinec | 60 mm | Prosinec          | -0.9 °C |

### 3. Charakteristika erozních procesů

Půda je v našich klimatických podmínkách rozrušována především vodou a větrem a tak rozlišujeme erozi vodní a větrnou.

Vodní eroze půdy je přírodní proces, při kterém dochází k rozrušování půdního povrchu působením vody, transportu půdních částic na jiné místo a jejich následnému usazování. Lze rozlišit dva druhy vodní eroze. Jedná se o geologickou a zrychlenou erozi. Geologická eroze probíhá přirozeně, postupně přetváří reliéf území a je v souladu s půdotvorným procesem. Zrychlená eroze naopak smývá půdní částice v takovém rozsahu, že nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem, jelikož tento proces probíhá mnohem pomaleji. Hlavním důsledkem vodní eroze je zmenšení mocnosti půdního profilu a ochuzení zemědělské půdy o její nejurodnější část. Dále má tento proces vliv na chemické vlastnosti půdy, neboť snižuje obsah organické hmoty, humusu a minerálních živin v půdě. Eroze snižuje produkční schopnost půd a urychluje její degradaci. Rovněž fyzikální vlastnosti půdy jsou erozí ovlivněny. Snižuje se propustnost půdy pro vodu, tím je znesnadněn pohyb strojů po pozemcích. Rovněž dochází k přímému poškozování pěstovaných rostlin a ztrátám osiv, sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin, čímž se snižují hektarové výnosy. [10]

Na vznik vodní eroze má největší vliv sklonitost a délka pozemku po spádnicí, dále pak vegetační pokryv, vlastnosti půdy a její náchylnost k erozi, přítomnost protierozních opatření a četnost výskytu přívalových srážek. Vodou unášené půdní částice a na nich vázané látky zanášejí vodní toky a akumulární prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují podmínky pro vodní organismy a zvyšují náklady na úpravu vody a čištění vodních nádrží od usazenin. V extrémních případech mohou být způsobeny vážné škody na stavbách a dalším majetku v blízkosti erozí postiženého pozemku. [10]

Větrná eroze půdy je přírodní proces, při kterém dochází k odnosu půdních částic z povrchu půdy mechanickou silou větru, transportu půdních částic na jiné místo a jejich následnému usazování. Větrnou erozi lze rozdělit na erozi saltací, při které přenáší vítr půdní částice jen po půdním povrchu a transportuje je jen na malé vzdálenosti, dalším typem jsou prašné bouře, při kterých se půdní částice volně vznášejí ve vzduchu a vítr je transportuje na velké vzdálenosti. Větrnou erozi ovlivňují především faktory klimatické a půdní struktura, drsnost půdního povrchu a vlhkost půdy. Větrná eroze je typickým jevem v aridních oblastech, ale vyskytuje se i v humidních oblastech na vysychavých místech nekrytých vegetací. Příčiny vzniku větrné eroze jsou zejména nadměrná velikost pozemků s jedním druhem plodiny, chybějící větrolamy, přirozené či uměle vysazované aleje, remízky apod. [10]



## 4. Přehled metod pro analýzu erozního smyvu v povodí

Již od roku 1930 se vyvíjejí různé metody pro výpočet erozního smyvu. Byla vyvinuta řada modelů a empirických vztahů. Nejvýznamnějším z empirických vztahů je univerzální rovnice ztráty půdy z roku 1978, která se používá dodnes.

Hlavním předchůdcem universální rovnice pro výpočet ztráty půdy (Universal Soil Loss Equation – USLE) byl model vytvořený Musgravem (1947), který vyvinul parametrický model založený na vztahu eroze a erodibility půdy (K), vegetačnímu pokryvu (C), sklonu svahů (S), délce svahu (L) a maximální 30 minutové intenzitě deště ( $I_{30}$ ). Byl to právě tento vztah, který byl následně upraven autory Wischmeierem a Smithem (1978) a stal se známým pod názvem USLE. [11]

S rozvojem výpočetní techniky a GIS došlo k dalšímu vývoji výpočtu eroze a simulačních modelů. Mezi používané modely patří např. HydroCAD, založený na principu CN-křivek; model SMODERP; KINFIL, což je hydrologický model, který byl nedávno doplněn o řešení limitních podmínek vodní eroze; EROSION koncipován pro podmínky střední Evropy; nebo model WEPP, který představuje simulační model pro řešení odtoku a eroze na jednotlivém svahu. Rovnice USLE prodělala během posledních desítek let další úpravy a vylepšení. Modely založené na principu USLE jsou např. USPED (Mitášová a kol., 1996), MUSLE (Williams, 1975), RUSLE (Renard a kol., 1991, 1997), ANSWERS (Beasley a kol., 1989) a RUSLE3D (Mitášová a kol., 1996; Mitášová a Mitáš, 1999).

V současnosti využívané modely se liší dle toho, zda: [12]

- a) vyčíslují pouze plošný smyv půdy - metoda USLE,
- b) vyčíslují mezirýhovou i rýhovou erozi (zohledněním velikosti odtokové plochy v každém bodě) - USLE2D,
- c) vyčíslují rýhovou a mezirýhovou erozi, ale i depozici na základě komplexního vyhodnocení morfologie a stanovení transportní kapacity povrchu - RUSLE3D, USPED, WATEM/SEDEM.

Dnešní nejvíce využívaná metoda je USLE2D (Desmet a kol., 1996), která je založena na digitálním modelu terénu a více nebo méně automatizuje celý výpočet erozního smyvu.

## 5. Použité metody a výsledky

Ohroženost řešeného území vodní erozí byla vyhodnocena několika způsoby a následně porovnána. V prvním případě byla použita klasická univerzální rovnice Wischmeier-Smithova, dále byla tato rovnice použita v modifikaci gridu a výpočet eroze byl proveden podle metody USLE2D. Nakonec bylo pro určení erozních poměrů použito simulačního modelu WEPP a programu pro hodnocení erozní ohroženosti Atlas DMT.

### 5.1. Metoda USLE

Pro určení velikosti ohrožení zemědělské půdy vodní erozí se vychází z univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí – USLE dle Wischmeiera a Smitha. Při použití této rovnice posuzujeme jak jednotlivé pozemky, tak i větší územní celky, do kterých tyto pozemky patří, a to z hlediska jejich stavu a obhospodařování. Rovnice vychází z principu přípustné ztráty půdy vodní erozí na jednotlivých zemědělských pozemcích, jejíž hodnota slouží ke stanovení míry ohrožení pozemku a je definována jako maximální velikost eroze půdy, která udržuje dostatečnou úrodnost půdy.

Univerzální rovnice Wischmeier –Smith má tvar: [13]

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

kde: G - průměrná roční ztráta půdy [t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>]

R - faktor erozní účinnosti deště [MJ·ha<sup>-1</sup>·cm·h<sup>-1</sup>]

K - faktor erodovatelnosti deště [t·MJ<sup>-1</sup>·h·cm<sup>-1</sup>]

L – faktor délky svahu [-]

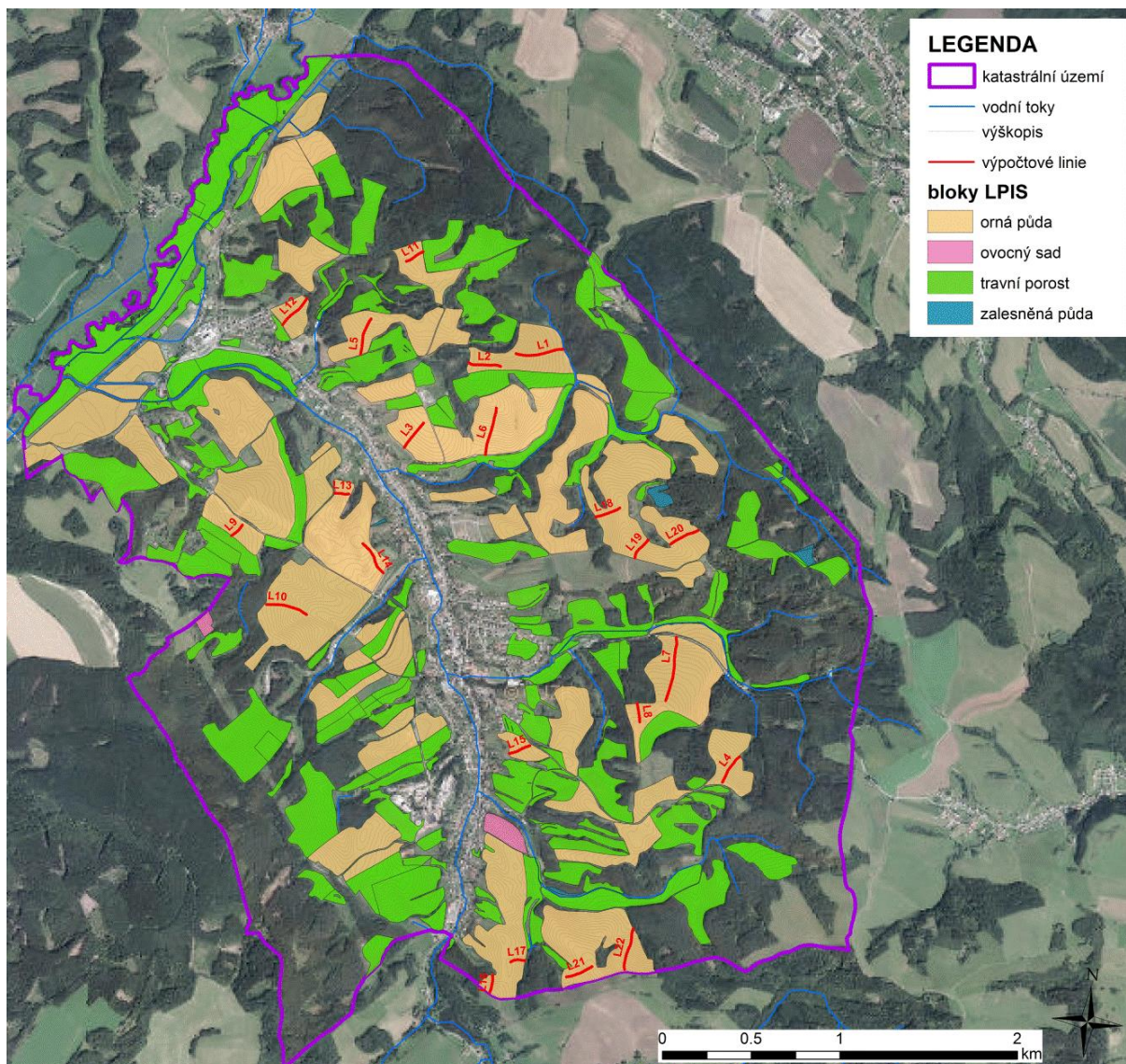
S – faktor sklonu svahu [-]

C - faktor ochranného vlivu vegetace [-]

P - faktor protierozních opatření [-]

Pro použití metody USLE pro výpočet erozního smyvu je potřeba nejdříve navrhnout odtokové linie, které charakterizují dráhu odtoku kapky deště. Bylo navrženo 22 odtokových linií (obr. 11) s využitím mapových podkladů a vytvořených tzv. kapek v programu Atlas DMT. Na základě těchto linií byly zjišťovány jednotlivé faktory potřebné pro výpočet erozního smyvu, které vystupují ve Wischmeier-Smithově rovnici. Dosazením všech šesti faktorů do univerzální rovnice (pro každou vybranou

odtokovou linii na řešeném území) se vypočítal erozní smyv G. Tato hodnota vyjadřuje dlouhodobou průměrnou ztrátu půdy vodní erozí v t/ha/rok, která se následně porovnává s přípustnou ztrátou půdy.



Obr. 11 Výpočtové linie na blocích LPIS

### 5.1.1. Faktor erozní účinnosti přívalového deště (R)

Faktor R definovali W. H. WISCHMEIER, D. D. SMITH vztahem: [13]

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

kde: R - faktor erozní účinnosti deště [ $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ ],

E - celková kinetická energie deště [ $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ ],

$I_{30}$  - max. 30minutová intenzita deště [ $\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ ].

Pro výpočet byla použita průměrná hodnota faktoru erozní účinnosti deště pro Českou Republiku  $R = 40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ .

### 5.1.2. Faktor erodovatelnosti půdy (K)

Faktor erodovatelnosti půdy resp. náchylnosti půdy k erozi je v univerzální rovnici definován jako odnos půdy  $\text{vt/ha}$  na jednotku dešťového faktoru  $R$  ze standardního pozemku o délce 22,13 m (na svahu o sklonu 9 %), který je udržován jako kypřený černý úhor kultivací ve směru sklonu. [13]

Hodnoty  $K$  faktoru lze získat odečtením z nomogramu nebo podle bonitovaných půdně ekologických jednotek na základě 2. a 3. čísla kódu, kdy pro každé dvojčíslí je určen kód hlavní půdní jednotky (HPJ).

Pokud známe údaje o složení půdy a obsah prachu a práškového písku (0,002 - 0,1 mm) nepřekročí 70 %, lze faktor  $K$  určit ve vztahu: [13]

$$100 K = 2,1 \cdot M^{1,14} \cdot 10^{-4} \cdot (12-a) + 3,25 \cdot (b-2) + 2,5 \cdot (c-3)$$

kde:  $M$  - součin (% prachu + % práškového písku) x (100 - % jílu),

$A$  - % organické hmoty,

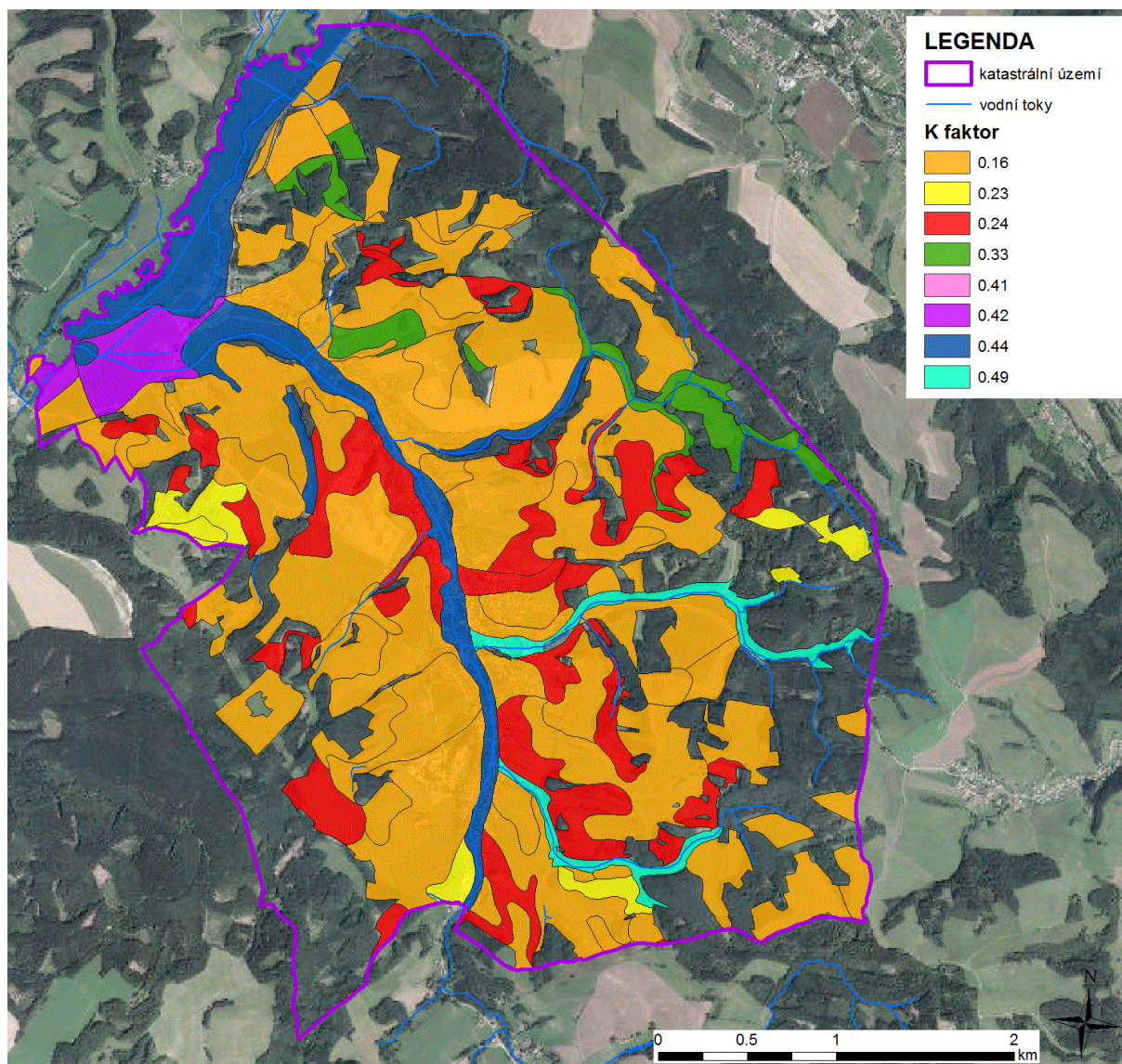
$B$  - třída struktury ornice,

$C$  - třída propustnosti půdního profilu.

$K$  faktoru použitý k výpočtu (obr. 12) byl odvozen z 2. a 3. čísla hlavních půdních jednotek půdních map BPEJ dle následující tabulky:

Tab. 4 Hydrologické skupiny půd zájmového území a příslušný  $K$  faktor

| HPJ | K faktor | HPJ | K faktor |
|-----|----------|-----|----------|
| 31  | 0.16     | 48  | 0.41     |
| 30  | 0.23     | 58  | 0.42     |
| 40  | 0.24     | 67  | 0.44     |
| 41  | 0.33     | 68  | 0.49     |
| 50  | 0.33     |     |          |



Obr. 12 Zobrazení K faktoru zájmového území

### 5.1.3. Faktor ochranného vlivu vegetace (C)

Vliv vegetačního pokryvu na smyv půdy se projevuje jednak přímo ochranou povrchu půdy před destruktivním působením kinetické energie dopadajících dešťových kapek a zpomalováním rychlosti povrchového odtoku, jednak nepřímo působením vegetace na půdní vlastnosti, zejména pórovitost a propustnost včetně omezení možnosti zanášení pórů rozplavenými půdními částicemi a mechanickým zpevněním půdy kořenovým systémem. [13]

Ochranný vliv vegetace je přímo úměrný pokryvnosti a hustotě porostu v době přívalového deště (IV-IX měsíc). Proto dokonalou protierozní ochranu představují

porosty trav a jetelovin, zatímco běžným způsobem pěstované širokořádkové plodiny (kukuřice, okopaniny, ovocné výsadby a vinice) chrání půdu nedostatečně. [13]

Velikost C faktoru je závislá nejen na druhu plodiny, ale také na ročním období. Wischmeier a Smith proto rozdělili roční období do 5 období, podle toho jak se mění jejich ochranný vliv: [12]

1. období podmítky a hrubé brázdy,
2. období 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.

V zájmovém území se pro vyhodnocení současného stavu využívání pozemků použilo orientačních průměrných ročních hodnot faktoru vegetačního krytu a agrotechniky podle Wischmeiera a Smitha s ohledem na dlouhodobou strukturu pěstovaných plodin. Výpočet průměrného C faktoru je uveden v tabulce č. 5.

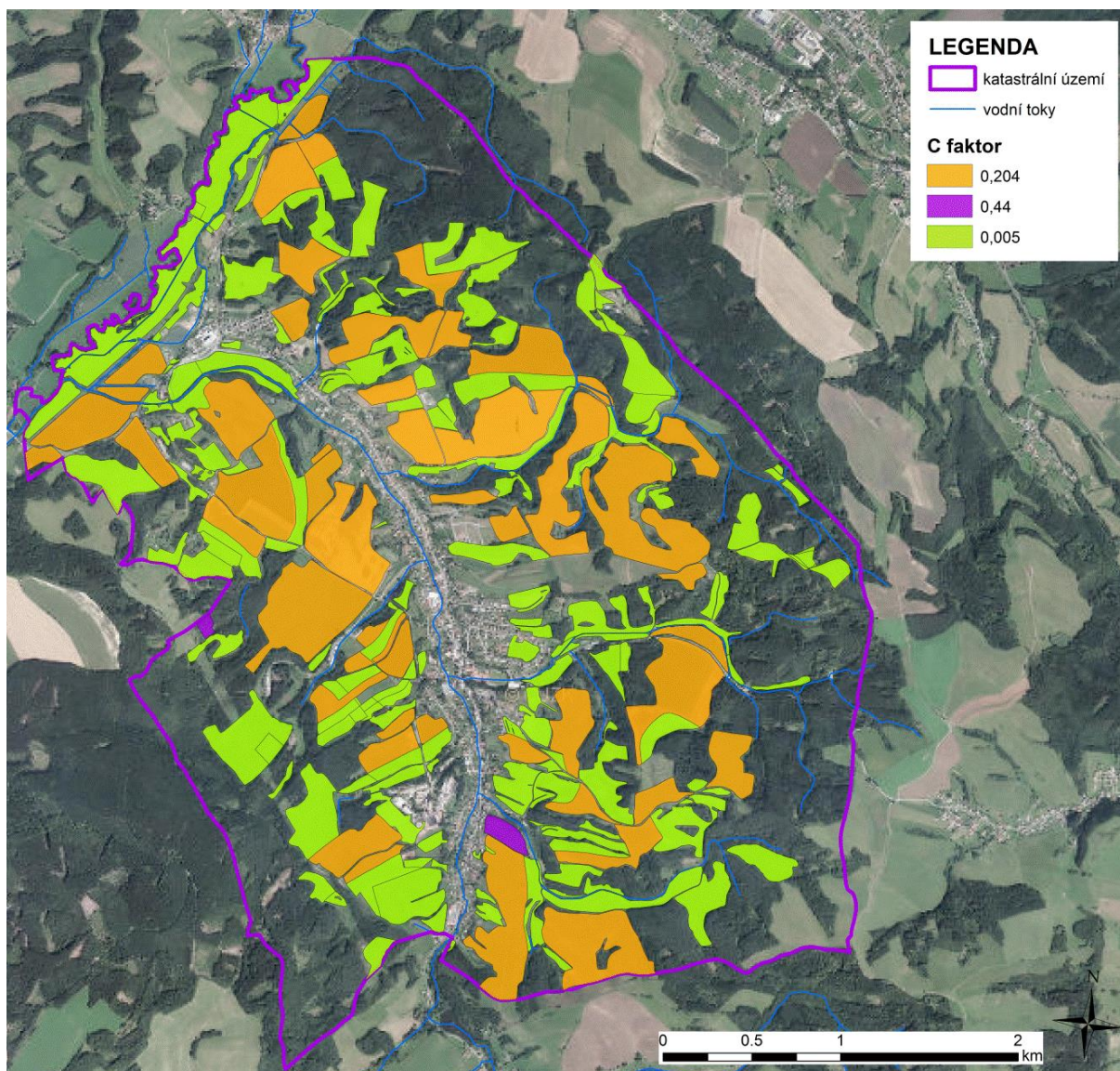
Tab. 5 Výpočet průměrného C faktoru zájmového území

| <b>plodina</b>                | <b>zastoupení plodin v %</b> | <b>C faktor</b> |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------|
| <i>pšenice ozimá</i>          | 2.12                         | 0.08            |
| <i>tritikale ozimá</i>        | 2.28                         | 0.08            |
| <i>jarní ječmen</i>           | 2.50                         | 0.05            |
| <i>řepka ozimá</i>            | 2.08                         | 0.08            |
| <i>ostropestřec mariánský</i> | 0.42                         | 0.08            |
| <i>konzumní brambory</i>      | 19.70                        | 0.3             |
| <i>kukuřice</i>               | 36.55                        | 0.35            |
| <i>TTP</i>                    | 34.35                        | 0.005           |
|                               | <b>C=</b>                    | <b>0.196</b>    |

C faktor byl také určen dle hodnoty klimatického regionu v zájmovém území jako:

| <b>klimatický region</b> | <b>orná půda</b> |
|--------------------------|------------------|
| 7                        | <b>0.204</b>     |

Pro výpočet erozního smyvu byla použita hodnota C = 0,204.



Obr. 13 Zobrazení C faktoru zájmového území

#### 5.1.4. Faktor účinnosti protierozních opatření (P)

Faktor účinnosti protierozních opatření je stanovován na základě sklonu svahu, maximálních délek pozemku po spádnicí, maximální šířce a počtu pásů při pásovém střídání, hrázkování a terasování.

Jestliže nelze předpokládat, že by byly dodrženy stanovené podmínky maximálních délek a počtů pásů, nelze s účinností příslušných opatření vyjádřených hodnotami faktoru P počítat a hodnota faktoru  $P = 1$ . [12]

### 5.1.5. Faktor sklonu svahu (S)

Ztráta půdy se zvyšuje se vzrůstajícím sklonem svahu, a to rychleji než je tomu u délky svahu. Hodnota faktoru sklonu svahu S se určuje pomocí vztahů: [12]

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

$$S = 16,8 \cdot \sin \theta - 0,50 \quad \text{pro sklon} > 9 \%$$

kde  $\theta$  je úhel sklonu svahu (rad nebo m/m) a výpočet goniometrické funkce musí být proveden v systému rad.

Pro vyjádření proměnného sklonu svahu, příp. k vyjádření vlivu změn půdních vlastností na svahu se svah rozdělil na 10 stejně dlouhých úseků a faktor sklonu svahu S se stanovil jako vážený průměr faktoru S dílčích úseků. Výsledná hodnota faktoru sklonu svahu pro svahy nepravidelného tvaru se stanovila následovně od nejvyšší polohy  $S_1$  po nejnižší  $S_{10}$  ze vztahu: [12]

$$S = 0,03S_1 + 0,06S_2 + 0,07S_3 + 0,09S_4 + 0,10S_5 + 0,11S_6 + 0,12S_7 + 0,13S_8 + 0,14S_9 + 0,15S_{10}$$

kde:  $S_i$  je hodnota faktoru S pro i-tý úsek svahu, rozděleného na deset úseků stejné délky.

Vypočítaný faktor sklonu svahu podle uvedeného vzorce výše pro jednotlivé linie je v následující tabulce:

Tab. 6 Faktor sklonu svahu

| číslo linie | S    | číslo linie | S    |
|-------------|------|-------------|------|
| 1           | 1.37 | 12          | 1.44 |
| 2           | 1.12 | 13          | 2.21 |
| 3           | 1.51 | 14          | 1.04 |
| 4           | 2.19 | 15          | 1.72 |
| 5           | 1.67 | 16          | 2.45 |
| 6           | 1.62 | 17          | 2.02 |
| 7           | 1.22 | 18          | 2.12 |
| 8           | 2.04 | 19          | 2.25 |
| 9           | 1.96 | 20          | 1.59 |
| 10          | 1.57 | 21          | 1.92 |
| 11          | 1.25 | 22          | 2.18 |

### 5.1.6. 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 (1978) se zahrnutím přístupu použitého v tzv. RUSLE (Revidované universální rovnici ztráty půdy), (RENARD et al., 1997) ze vztahu: [12]

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

kde: 22,13 je délka standardního pozemku [m],

$l$  horizontální projekce délky svahu (uvažuje se nepřerušená délka svahu); není to vzdálenost rovnoběžná s povrchem půdy [m]

$m$  exponent sklonu svahu vyjadřující náchylnost svahu k tvorbě rýžkové eroze

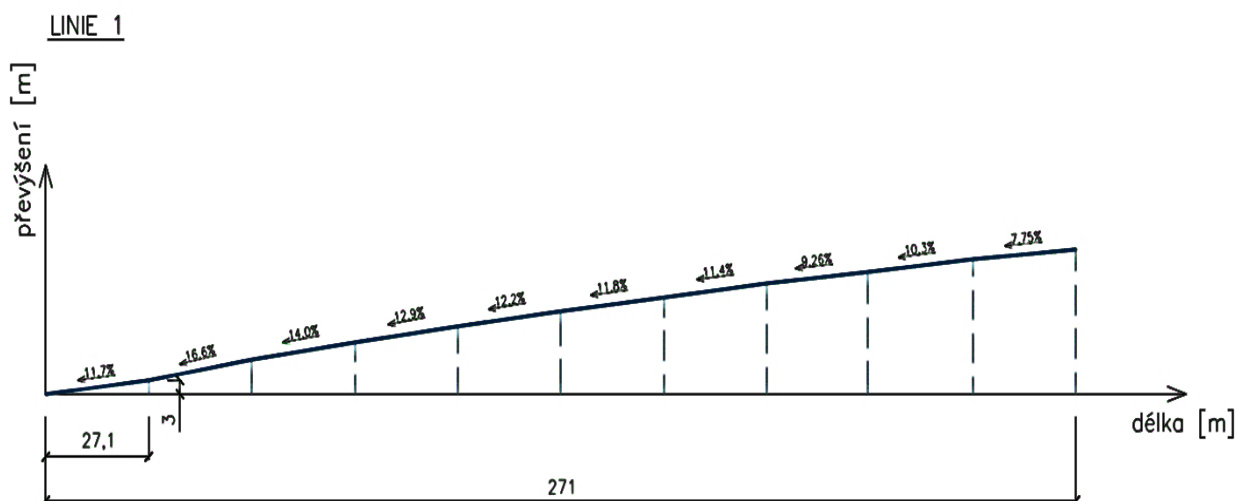
Vypočítaný faktor délky svahu podle uvedeného vzorce výše pro jednotlivé linie je v následující tabulce:

Tab. 7 Faktor délky svahu

| číslo linie | L    | číslo linie | L    |
|-------------|------|-------------|------|
| 1           | 3.87 | 12          | 4.06 |
| 2           | 3.01 | 13          | 2.58 |
| 3           | 3.06 | 14          | 2.91 |
| 4           | 4.55 | 15          | 2.60 |
| 5           | 3.47 | 16          | 2.96 |
| 6           | 4.16 | 17          | 2.14 |
| 7           | 4.07 | 18          | 4.04 |
| 8           | 2.44 | 19          | 3.69 |
| 9           | 2.78 | 20          | 3.69 |
| 10          | 3.70 | 21          | 3.07 |
| 11          | 2.31 | 22          | 5.77 |

### 5.1.7. Postup výpočtu erozního smyvu

- Zajištění mapových, geodetických a metodických podkladů.
- Analýza současného stavu řešeného území.
- Návrh 22 výpočtových odtokových linií na zemědělských pozemcích pro stanovení topografických faktorů L a S a faktoru erodovatelnosti půdy K. Každá linie byla rozdělena na 10 stejně dlouhých úseků, u kterých se jednotlivě stanovovalo převýšení, délka (obr. 14) a faktor K.
- Stanovení účinnosti protierozních opatření na hodnotu  $P = 1$ .
- Stanovení faktoru erozní účinnosti deště na hodnotu  $R = 40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ .
- Určení klimatického regionu řešeného území a stanovení C faktoru.
- Vypočítání erozního smyvu dle univerzální rovnice.
- Porovnání výsledného erozního smyvu s přípustnou hodnotou.



Obr. 14 Ukázka ručního výpočtu metodou USLE

Tab. 8 Výpočet erozního smyvu

| číslo linie | R<br>[MJ.ha <sup>-1</sup> .cm.h <sup>-1</sup> ] | K<br>[t.MJ <sup>-1</sup> .h.cm <sup>-1</sup> ] | L [-] | S [-] | C [-] | P [-] | G<br>[t.ha <sup>-1</sup> rok <sup>-1</sup> ] |
|-------------|---|--|-------|-------|-------|-------|--|
| 1           | 40  | 0.17   | 3.87  | 1.37  | 0.204 | 1     | 7.28   |
| 2           | 40  | 0.16   | 3.01  | 1.12  | 0.204 | 1     | 4.41   |
| 3           | 40  | 0.16   | 3.06  | 1.51  | 0.204 | 1     | 6.05   |
| 4           | 40  | 0.16   | 4.55  | 2.19  | 0.204 | 1     | 13.04  |
| 5           | 40  | 0.16   | 3.47  | 1.67  | 0.204 | 1     | 7.58   |
| 6           | 40  | 0.16   | 4.16  | 1.62  | 0.204 | 1     | 8.82   |
| 7           | 40  | 0.16   | 4.07  | 1.22  | 0.204 | 1     | 6.47   |
| 8           | 40  | 0.16   | 2.44  | 2.04  | 0.204 | 1     | 6.50   |
| 9           | 40  | 0.21   | 2.78  | 1.96  | 0.204 | 1     | 9.22   |
| 10          | 40  | 0.16   | 3.70  | 1.57  | 0.204 | 1     | 7.56   |
| 11          | 40  | 0.16   | 2.31  | 1.25  | 0.204 | 1     | 3.77   |
| 12          | 40  | 0.16   | 4.06  | 1.44  | 0.204 | 1     | 7.66   |
| 13          | 40  | 0.24   | 2.58  | 2.21  | 0.204 | 1     | 11.16  |
| 14          | 40  | 0.16   | 2.91  | 1.04  | 0.204 | 1     | 3.96   |
| 15          | 40  | 0.18   | 2.60  | 1.72  | 0.204 | 1     | 6.54   |
| 16          | 40  | 0.33   | 2.96  | 2.45  | 0.204 | 1     | 19.54  |
| 17          | 40  | 0.21   | 2.14  | 2.02  | 0.204 | 1     | 7.41   |
| 18          | 40  | 0.21   | 4.04  | 2.12  | 0.204 | 1     | 14.80  |
| 19          | 40  | 0.19   | 3.69  | 2.25  | 0.204 | 1     | 12.87  |
| 20          | 40  | 0.19   | 3.69  | 1.59  | 0.204 | 1     | 7.66   |
| 21          | 40  | 0.16   | 3.07  | 1.92  | 0.204 | 1     | 7.69   |
| 22          | 40  | 0.22   | 5.77  | 2.18  | 0.204 | 1     | 22.71  |

Při porovnání výsledného erozního smyvu s přípustnou hodnotou  $4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  dochází k překročení této hodnoty u velké většiny půdních bloků. Snížení erozního smyvu lze dosáhnout vhodnými a účinnými protierozními opatřeními, ale jejich řešení je nad rámec této práce.

## 5.2. USLE2D

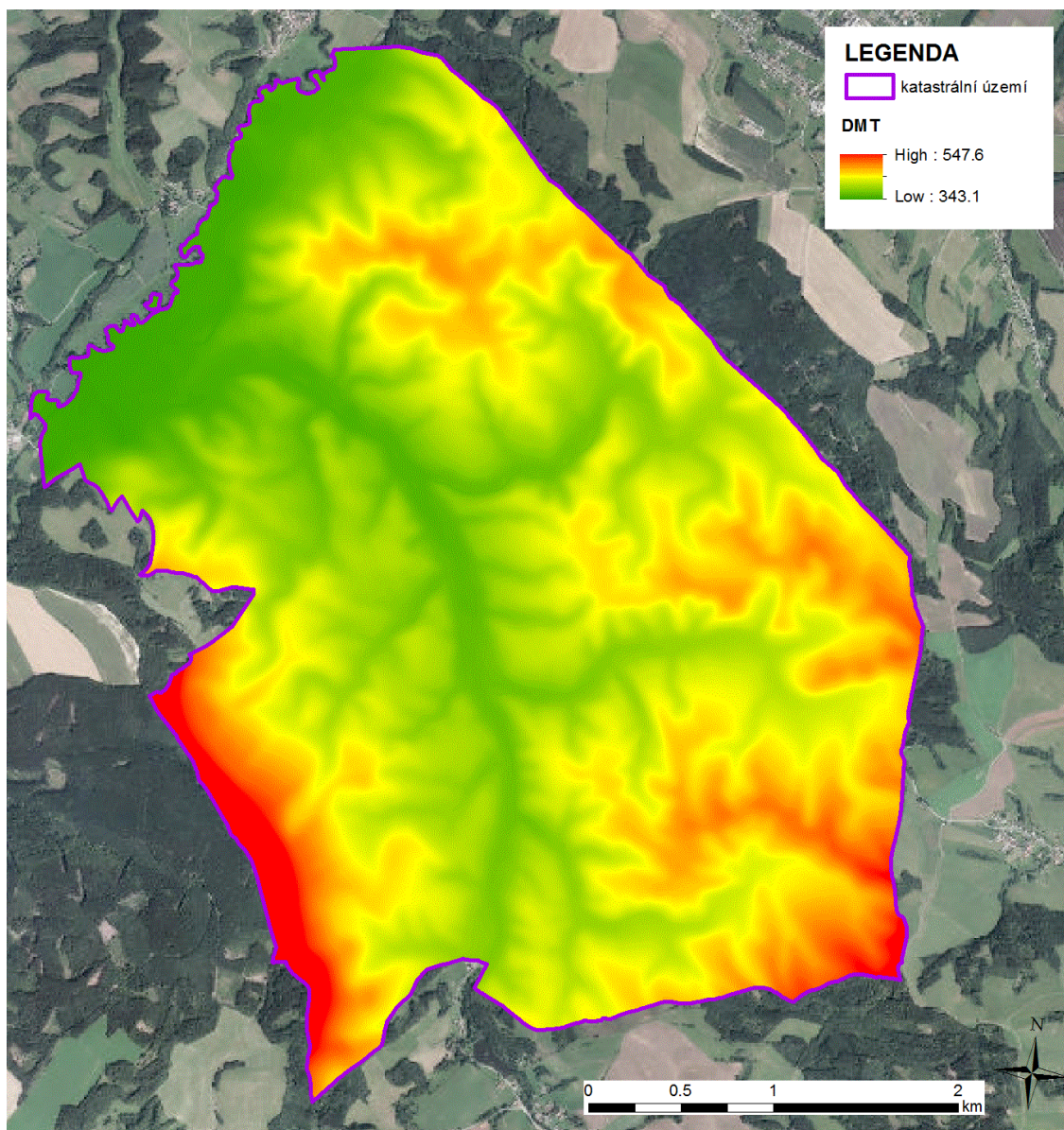
V druhém případě byla průměrná roční ztráta půdy stanovena pomocí univerzální rovnice Wischmeiera a Smithe v modifikaci gridu v prostředí ArcGIS. Při výpočtu s použitím gridů je nutné vytvořit gridové vrstvy s hodnotami jednotlivých faktorů. Před jejich tvorbou je třeba stanovit velikost gridové buňky podle podkladu s nejmenší přesností. S ohledem na velikost řešeného území byla velikost buňky zvolena 2 m.

Pro vytvoření gridu faktoru K byla použita vektorová mapa BPEJ. Ta byla klasifikována podle hodnot faktoru K a následně převedena na grid.

Pro faktor R byla použita průměrná hodnota  $R=40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ , do výpočtu tedy vstupuje jako konstanta pro celé zpracovávané území.

Hodnoty faktoru C pro ornou půdu byly určeny na základě klimatických regionů, které lze zjistit podle prvního čísla kódu BPEJ. V řešené oblasti byly použity hodnoty 0,204 pro ornou půdu, 0,44 pro ovocné sady a 0,005 pro lesní porost a zatravněnou půdu. Takto klasifikovaná vrstva byla převedena na grid pomocí převáděcích nástrojů GIS.

Pro stanovení skutečných odtokových drah soustředěného odtoku je potřeba vygenerovat co nejpřesnější digitální model terénu (obr. 15), v našem případě je velikost gridu 2 m.



*Obr. 15 Digitální model terénu KÚ Dolní Dobrouč*

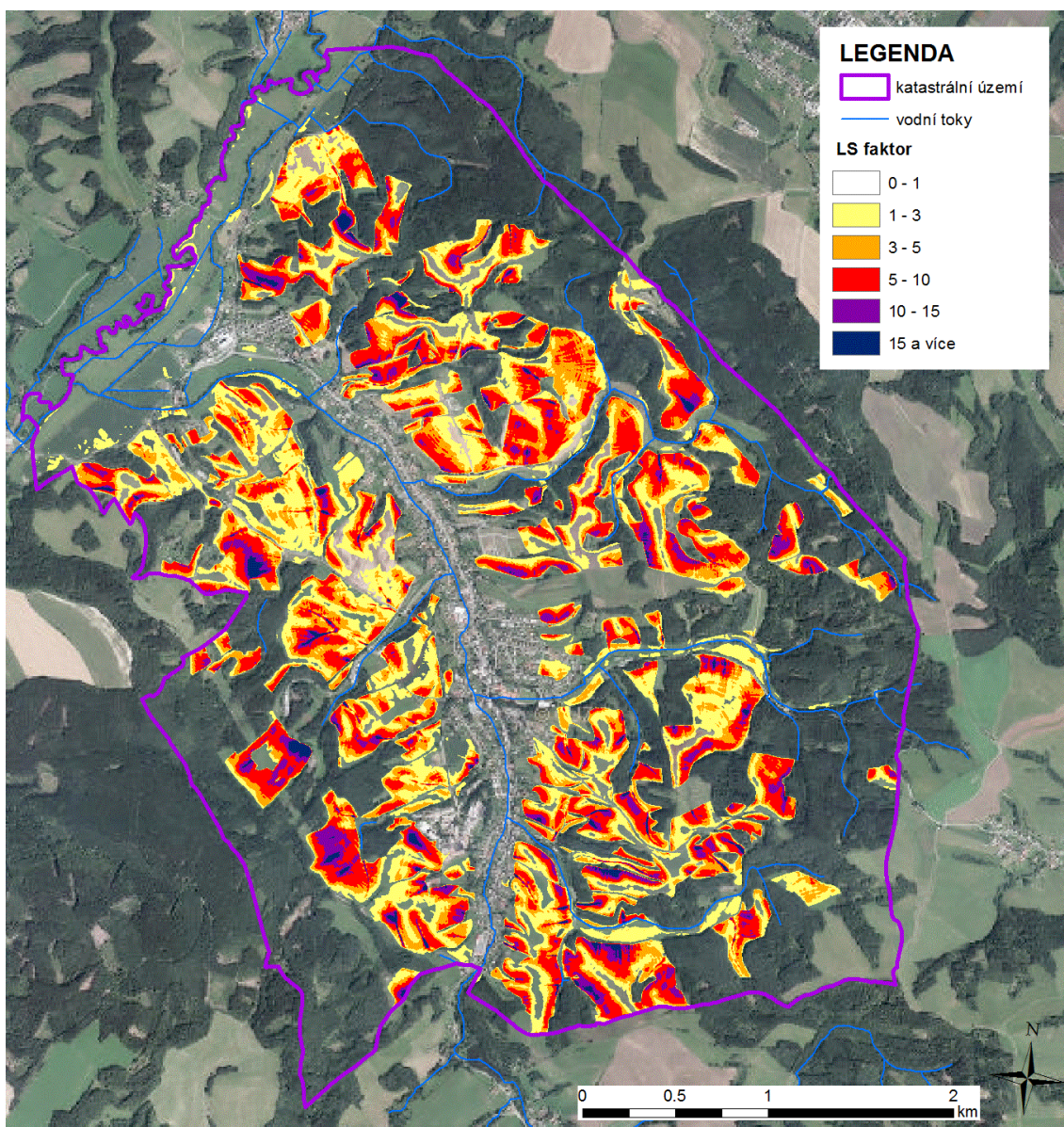
Pro tvorbu LS faktoru je možné využít program USLE2D. Faktory L a S jsou často počítány dohromady jako součin LS. Bylo použito programů ArcGIS a USLE2D pro automatický výpočet LS-faktoru z digitálních dat. Program USLE2D pracuje pouze s daty ve formátu Idrisi. Proto se musí provést vlastní převod dat do formátu Idrisi (\*.rst). Byl použit program LS Converter na převod dat z ArcGIS do Idrisi a zpět.

Data pro metodu USLE2D:

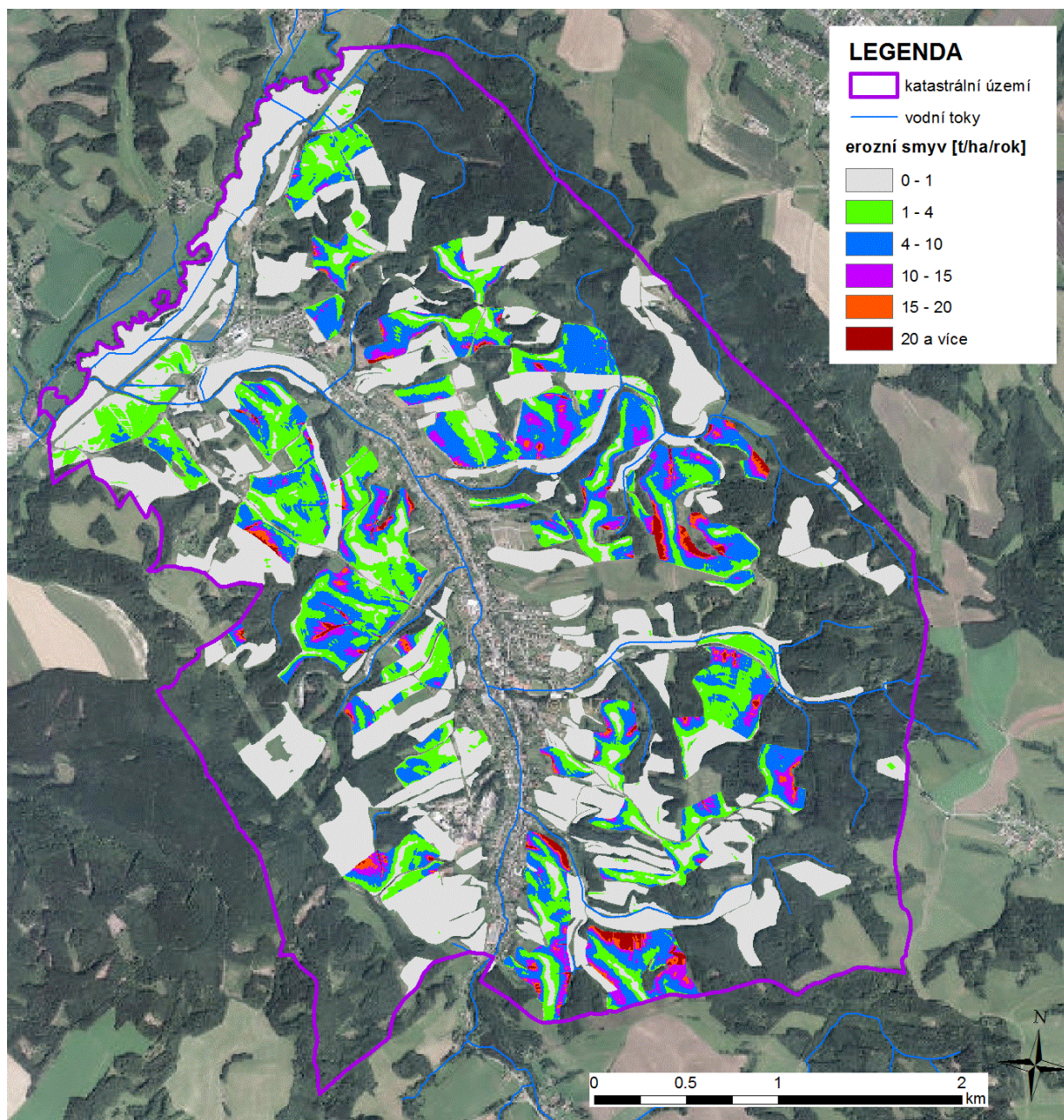
1. Rastrová data (grid)
  - DMT (digitální model terénu)
2. Vektorová data
  - Vytvořený rastr K a C faktoru

Program USLE2D pro výpočet LS-faktoru vyžaduje jako vstupní data DMT (digitální model terénu) a grid tzv. "parcel". Grid parcel převodem z uvedených dat rozčleňuje území na dílčí plochy vkládáním bariér - hranic mezi dílčími plochami, které působí jako překážky pro plošný povrchový odtok a dochází zde k přerušení odtoku. Tím se snižuje délka odtokové dráhy a faktor L délky svahu. V programu USLE2D je faktor LS počítán zvlášť pro každý rastrový element. Délka odtokové dráhy je nahrazena zdrojovou plochou rastrového elementu. [14]

Takto získaný LS faktor (obr. 16) můžeme použít pro výpočet eroze. Společně s ostatními faktory jej dosadíme do univerzální rovnice Wischmeier-Smith a za pomoci GIS nástroje Raster Calculatoru vypočítáme hodnotu smyvu a vytvoříme jeho grid (obr. 17).



Obr. 16 LS faktor KÚ Dolní Dobrouč



Obr. 17 Erozní smyv vygenerovaný pro KÚ Dolní Dobrouč

## 5.3. MODEL WEPP

### 5.3.1. Teorie modelu WEPP

Pro řešení odtoku a eroze na jednotlivém svahu a v malém zemědělsko-lesním povodí je používán projekt WEPP (Water Erosion Prediction Project). Simulační model WEPP je založený na stochastickém generátoru počasí, infiltrační teorii, hydrologii, půdní fyzice, atd. Zahrnuje procesy uvolnění půdních částic deštěm (jako funkce

energetických parametrů deště), transport povrchovým odtokem v tenké vrstvě a dále procesy plošné rýžkové eroze a rýhové eroze, která je simulována na základě mechanismu tvorby erozní rýhy. [11]

Při metodě simulačního modelování WEPP se složitý erozní proces rozděluje na základní, snadněji definovatelné procesy, uvolnění půdních částic deštěm, přemístění půdních částic deštěm, uvolnění půdních částic povrchovým odtokem, transport půdních částic povrchovým odtokem. Základními rovnicemi simulačního modelu erozního procesu jsou rovnice kontinuity pohybu vody a rovnice pohybu půdních částic (splavenin). [11]

Eroze půdy ze svahu je v modelu WEPP reprezentována dvěma způsoby, a to rozrušováním půdních částic kinetickou energií kapek deště a jejich následný transport plošným povrchovým odtokem nazývané jako mezirýhová eroze a rozrušováním půdních částic smykovým napětím a dále transportovaných soustředěným odtokem, tj. rýhová eroze (Flanagan a kol., 1995). [11]

Model WEPP pro popis pohybu sedimentu v rýhách používá ustálenou rovnici kontinuity sedimentu vyjádřenou jako (Foster a kol., 1995): [11]

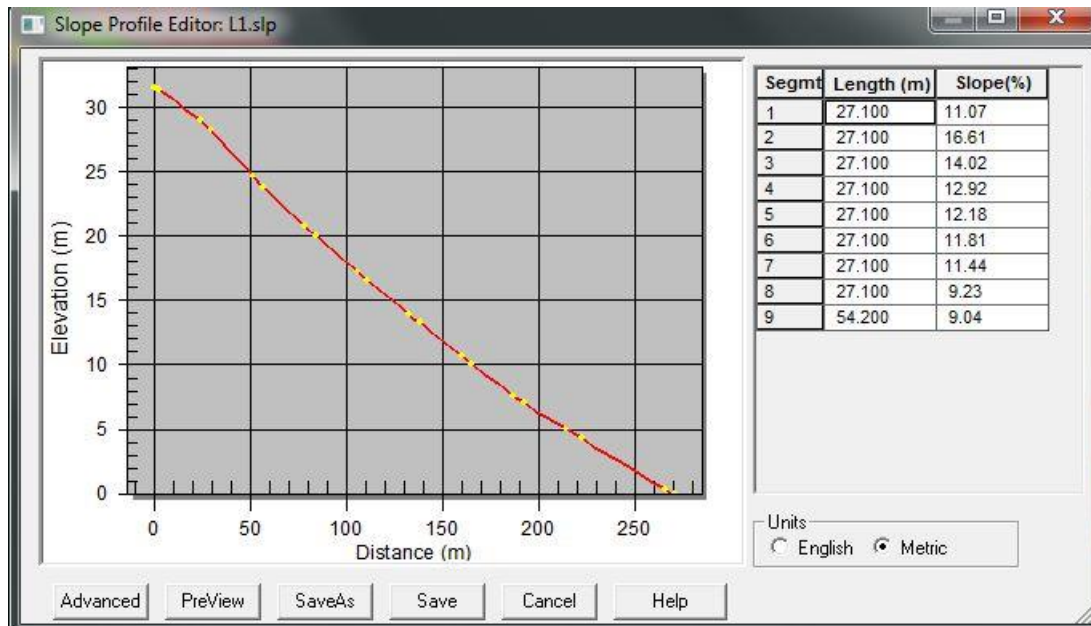
$$\frac{dG}{dx} = D_f + D_i$$

Kde  $x$  je vzdálenost na svahu [m],  $G$  je množství sedimentu [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ ],  $D_i$  je dotace mezirýhového sedimentu do rýhy [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ ] a  $D_f$  je míra rýhové eroze [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ]. Přísun mezirýhového sedimentu  $D_i$  je uvažován jako nezávislý od  $x$  a je vždy pozitivní. Rýhová eroze  $D_f$  je pozitivní pro uvolňování sedimentu a negativní pro usazování sedimentu. Pro účely výpočtu v daném modelu obě hodnoty  $D_f$  a  $D_i$  jsou počítány na jednotku plochy rýhy a tím je  $G$  počítáno na jednotku šířky rýhy. Na základě kompletního výpočtu je ztráta půdy vyjádřena jako ztráta půdy na jednotku plochy povodí. [11]

### 5.3.2. Postup a výsledky výpočtu erozního smyvu v modelu WEPP

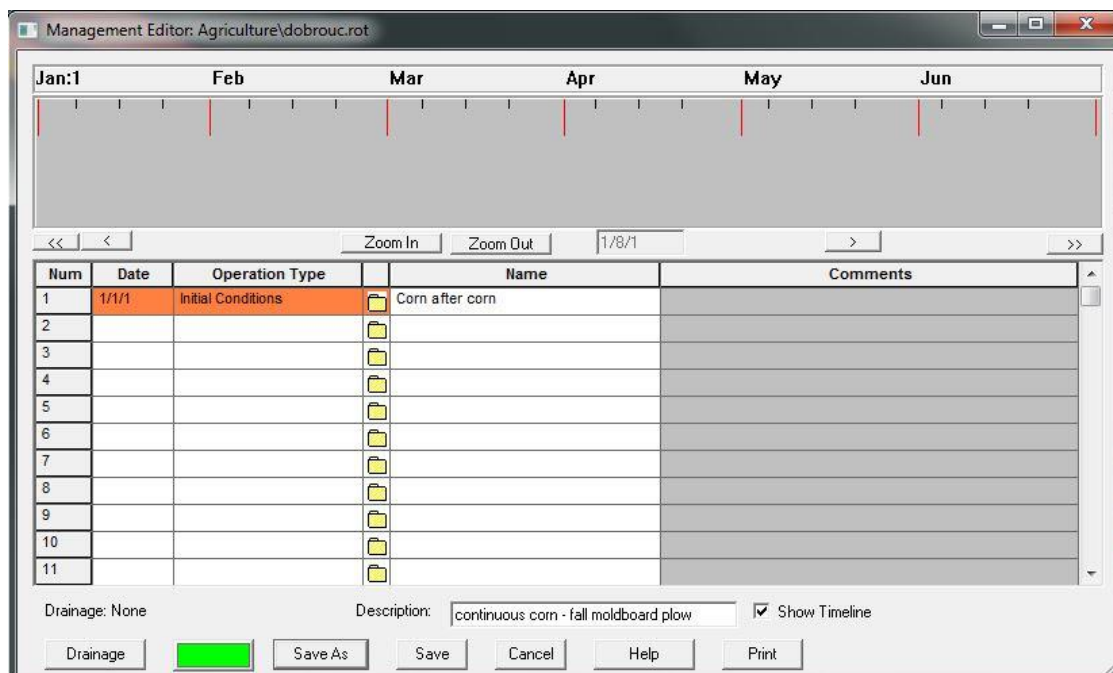
Při použití simulačního modelu WEPP se nejdříve zaznamenalo všech 22 výpočtových linií použitých při užití USLE pomocí editoru „*Slope Profile Editor*“ (obr. 18). Editor dělí výpočtovou linii na 9 částí. Zapisovaly se délky jednotlivých úseků a jejich sklony v procentech. Použily se stejné hodnoty jako v případě výpočtu erozního smyvu pomocí USLE, kde se linie ale dělila na více dílů (10 dílů). Z tohoto důvodu se

v případě použití modelu WEPP poslední dvě hodnoty délek úseků sečetly a jejich sklon se zprůměroval. Po zadání těchto hodnot model WEPP vykreslil tvar odtokové linie.



Obr. 18 Ukázka prostředí Slope profile editor

Dalším krokem bylo vložení klimatických dat pro Dolní Dobrouč do příkazu „Climate File“. Následně byl v editoru „Management Editor“ (obr. 19) zadán způsob obdělávání půdy. Uvažovalo se s nejhorší možnou variantou obdělávání, tedy kukuřice po kukuřici.



Obr. 19 Ukázka prostředí Management editor



Posledními vstupními údaji pro výpočet erozního smyvu bylo zadání vrstev výběrové sondy z řešeného území do editoru „Soil Database Editor“ (obr. 20).

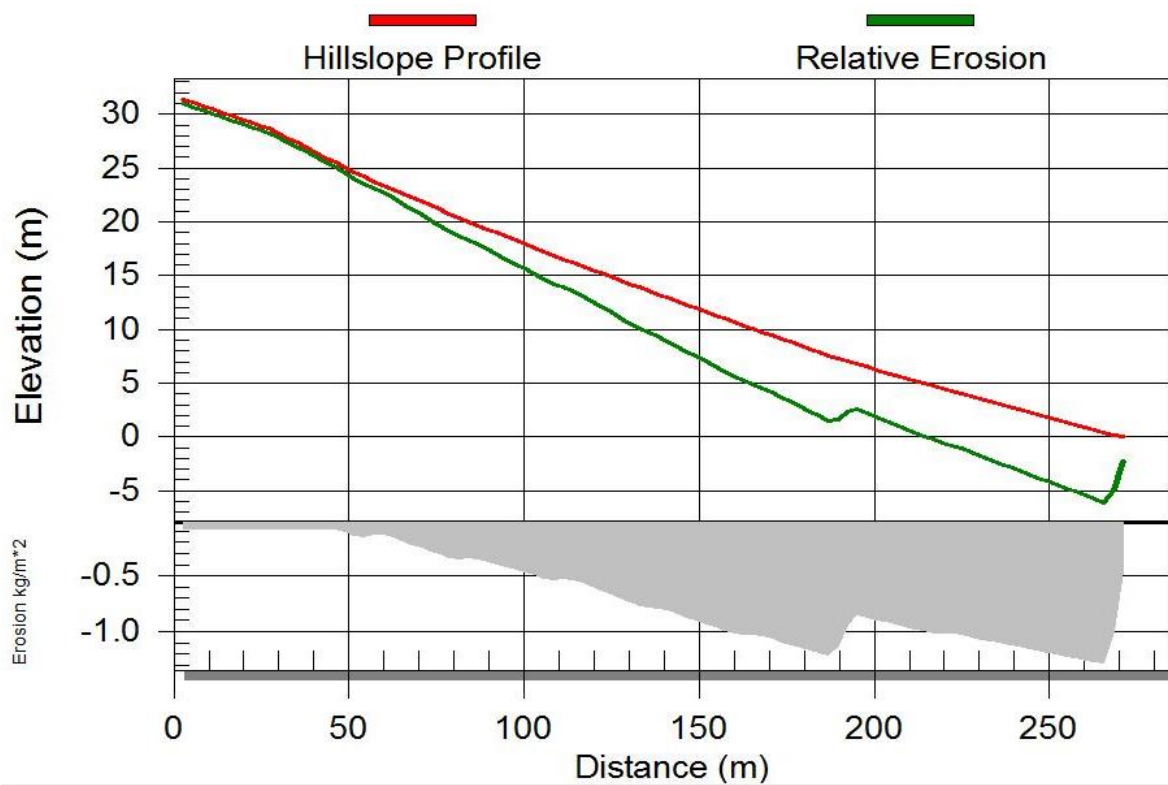
| Layer | Depth(mm) | Sand(%) | Clay(%) | Organic(%) | CEC(meq/1) | Rock(%) |
|-------|-----------|---------|---------|------------|------------|---------|
| 1     | 381       | 37.4    | 21.5    | 2.000      | 9.9        | 3.5     |
| 2     |           |         |         |            |            |         |
| 3     |           |         |         |            |            |         |
| 4     |           |         |         |            |            |         |
| 5     |           |         |         |            |            |         |
| 6     |           |         |         |            |            |         |
| 7     |           |         |         |            |            |         |
| 8     |           |         |         |            |            |         |
| 9     |           |         |         |            |            |         |

Obr. 20 Ukázka prostředí Soil Database Editor

Model WEPP po zadání všech vstupních údajů vyhodnotil odtokovou linii na erozní smyv v t/ha (obr. 21). Model zpracoval výsledky také do grafu (obr. 22), který zobrazuje množství erozního smyvu podél odtokové linie závislého na sklonitostních poměrech území.



Obr. 21 Zobrazení tvaru odtokové linie a erozního smyvu



Obr. 22 Vyhodnocení erozního smyvu modelem WEPP

Tab. 9 Výsledky erozního smyvu dosaženého modelem WEPP

| číslo linie | G [t/ha/rok] | číslo linie | G [t/ha/rok] |
|-------------|--------------|-------------|--------------|
| 1           | 6.65         | 12          | 6.97         |
| 2           | 3.00         | 13          | 7.11         |
| 3           | 7.66         | 14          | 4.02         |
| 4           | 12.95        | 15          | 7.81         |
| 5           | 10.56        | 16          | 10.43        |
| 6           | 8.84         | 17          | 8.15         |
| 7           | 8.32         | 18          | 10.20        |
| 8           | 8.99         | 19          | 11.30        |
| 9           | 6.26         | 20          | 7.51         |
| 10          | 9.34         | 21          | 9.73         |
| 11          | 3.80         | 22          | 14.67        |

## 5.4. Atlas DMT

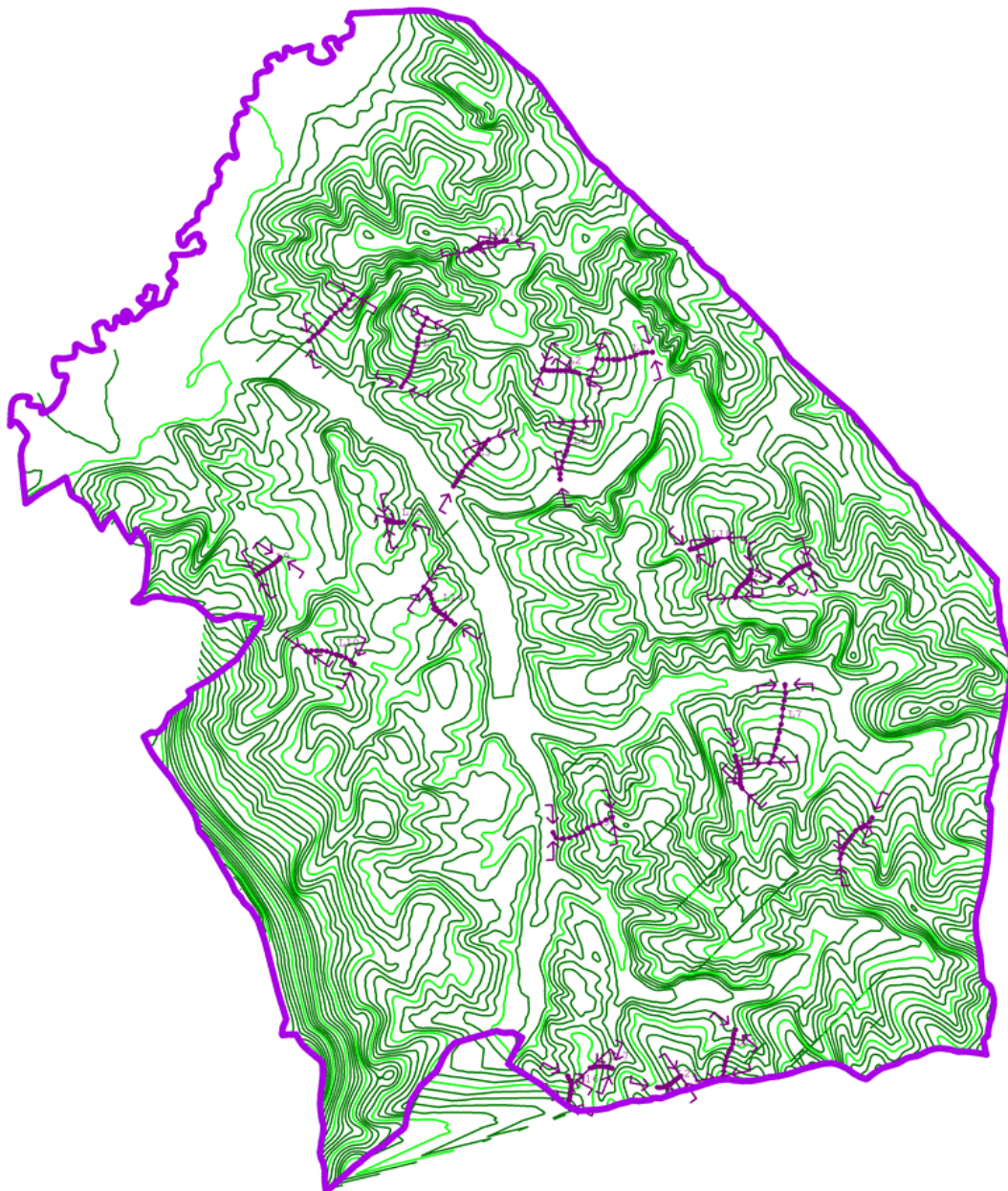
Atlas DMT je počítačový program na zpracování výškopisných údajů. Programový systém se využívá v oblasti protierozní ochrany, kdy umožňuje vytvořit digitální model terénu. DMT je prostorová plocha, která kopíruje skutečný terén. Pomocí DMT lze zjistit výškopisné údaje daného území, sklonitost či expozici terénu. Po vytvoření digitálního modelu terénu tak máme veškeré informace potřebné při řešení konkrétní úlohy a návrhu dalších opatření.

Součástí Atlasu jsou také speciální funkce a projekční moduly, které umožňují projektování komunikací (polní a lesní cesty, úpravy vodních toků), liniových sítí (kanalizace, vodovody) a těžebních prací (odstřely, plánování postupu těžby, kubatury vrstev). [15]

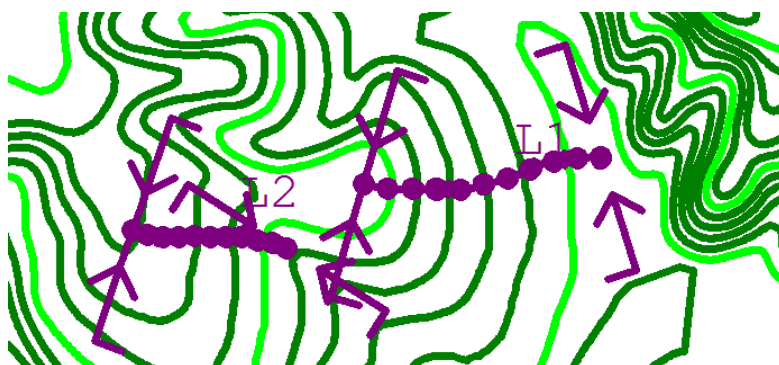
### 5.4.1. Metoda výpočtu a její výsledky

Smyv neboli dlouhodobá ztráta půdy z pozemku charakterizuje kvantitativní účinek vodní eroze. Pro jeho výpočet je zde použita tzv. univerzální rovnice Wischmeier – Smith.

Prvním krokem v programu Atlas DMT bylo vytvoření digitálního modelu terénu z dx.f. souboru vrstevnic na katastrálním území Dolní Dobrouč. Stanovení půdního smyvu bylo provedeno nad trasami výpočtových linií použitých v metodě USLE. V modelovaném terénu zájmového území byly do tras linií umístěny tzv. „kapky“ (obr. 23). Při vykreslování mohlo dojít k malým odlišnostem z důvodu nepřesnosti, které bylo možné zanedbat. Počáteční a koncový bod výpočtové trasy jsou v rámci linie volitelné, takže bylo možno kopírovat přesnou trasu výpočtových linií a koncové body posouvat na hranice pozemků LPIS. Program Atlas DMT rozdělil vedenou dráhu kapky na deset stejných intervalů (obr. 25), v nichž byl z modelu terénu zjišťován sklon a pro něj byl jednotlivě zadán faktor erodovatelnosti půdy  $K$ . Vliv vzdálenosti výpočtových intervalů od počátku trasy byl do řešení univerzální rovnice zaveden tím, že faktor sklonu svahu  $S$  a faktor náchylnosti půdy k erozi  $K$  byl stanoven jako vážený průměr příslušných hodnot z jednotlivých intervalů. Faktor délky svahu  $L$  byl určen z vymezené výpočtové trasy. Ostatní faktory rovnice byly zadány prostřednictvím příslušných dialogů, kdy  $C$  faktor byl zadán v pěti různých variantách, srážkový faktor byl stanoven na hodnotu 40 a faktor protierozních opatření  $P$  na hodnotu 1. Po zadání všech faktorů univerzální rovnice program vypočítal maximální dlouhodobou ztrátu půdy pro jednotlivé odtokové linie a pro každý z pěti  $C$  faktorů zvlášť.



Obr. 23 Vykreslené tzv. kapky v programu Atlas DMT



Obr. 24 Detail vykreslených kapek v programu Atlas DMT

**Smyv půdy**

Název trasy: Eroze - trasa  
 Délka svahu: 270.83      Faktor délky svahu: 3.50  
 Topografický faktor: 5.34      Faktor sklonu svahu: 1.44

Výpočtové intervaly

|            | Sklon [%] | Faktor K |             | Sklon [%] | Faktor K |
|------------|-----------|----------|-------------|-----------|----------|
| Interval 1 | 11.7      | 0.16     | Interval 6  | 11.6      | 0.16     |
| Interval 2 | 18.3      | 0.16     | Interval 7  | 11.0      | 0.16     |
| Interval 3 | 13.6      | 0.16     | Interval 8  | 9.1       | 0.16     |
| Interval 4 | 12.1      | 0.16     | Interval 9  | 10.7      | 0.16     |
| Interval 5 | 12.6      | 0.16     | Interval 10 | 8.3       | 0.50     |

Faktory společné pro celý profil

Erozní účinnost deště: 40.00 Pozn.  
 Protierozní opatření: 1.00 Pozn.  
 Ochranný vliv vegetace:  alt. 1 0.005 Pozn.  
 alt. 2 0.100 Pozn.  
 alt. 3 0.204 Pozn.  
 alt. 4 0.550 Pozn.  
 alt. 5 0.700 Pozn.

Výpočet smyvu

Počítat

alt. 1 0.213  
 alt. 2 4.251  
 alt. 3 8.672  
 alt. 4 23.380  
 alt. 5 29.756

Textový výstup

Soubor      Text v záhlaví      Přepočítat a zapsat      Editovat

C:\Users\Martina\Desktop\Bakalářská práce\2015\ATLAS\eroze\1.txt

Storno      OK

Obr. 25 Ukázka výpočtu smyvu půdy v programu Atlas DMT

Tab. 10 Výsledky erozního smyvu vypočítaného v programu Atlas DMT pro C=0,204

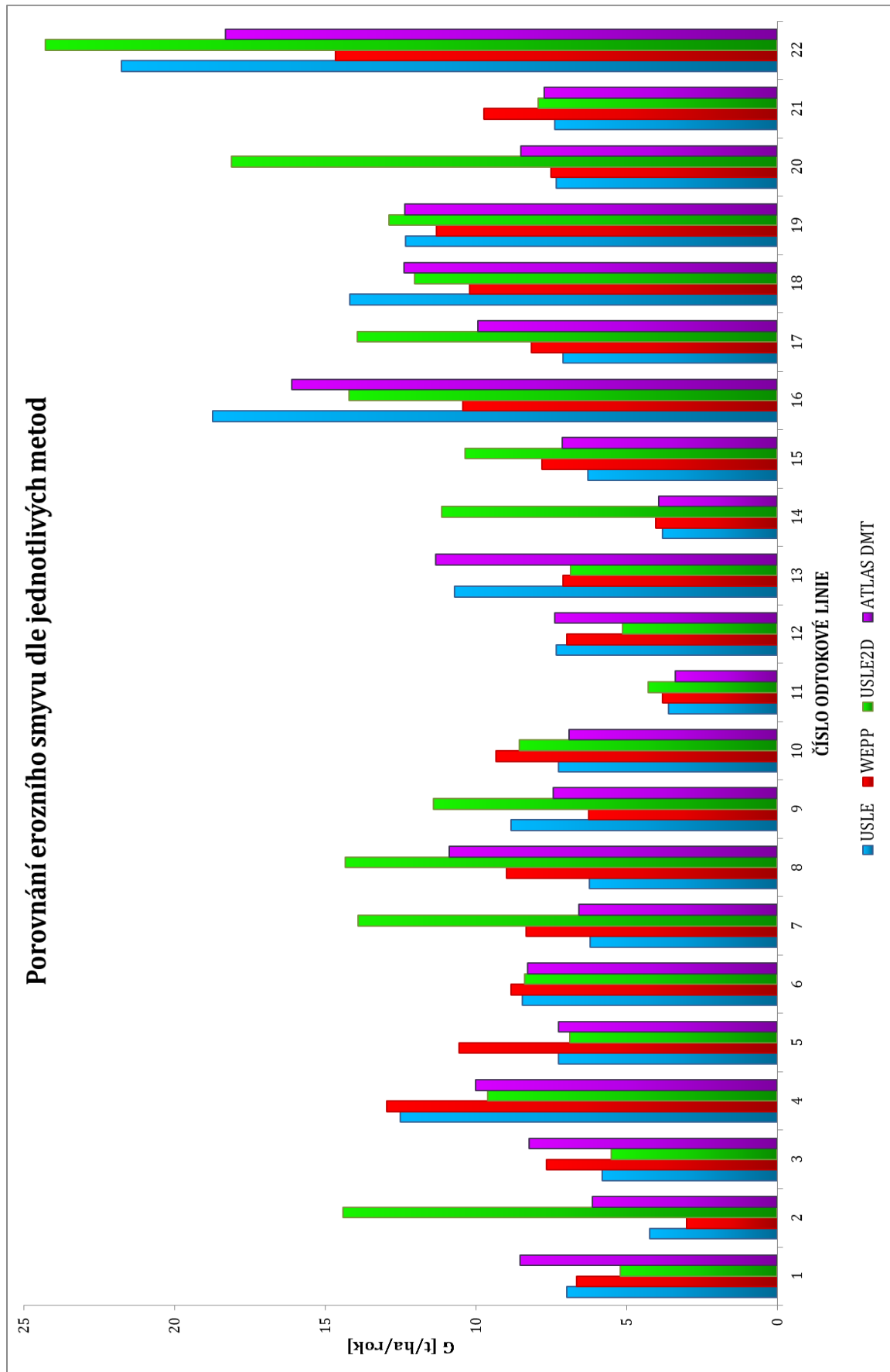
| číslo linie | G [t/ha/rok] | číslo linie | G [t/ha/rok] |
|-------------|--------------|-------------|--------------|
| 1           | 8.53         | 12          | 7.37         |
| 2           | 6.12         | 13          | 11.33        |
| 3           | 8.22         | 14          | 3.94         |
| 4           | 10.01        | 15          | 7.13         |
| 5           | 7.26         | 16          | 16.11        |
| 6           | 8.27         | 17          | 9.92         |
| 7           | 6.58         | 18          | 12.38        |
| 8           | 10.88        | 19          | 12.37        |
| 9           | 7.43         | 20          | 8.50         |
| 10          | 6.91         | 21          | 7.73         |
| 11          | 3.38         | 22          | 18.31        |

## 6. Porovnání výsledků eroze půdy

Pro porovnání výpočtu erozního smyvu v jednotlivých programech bylo třeba zavádět ve výpočtu stejné hodnoty jednotlivých faktorů. V případě výpočtu metodou USLE, USLE2D a Atlas DMT byly použity hodnoty pro C faktor=0,204, pro R faktor=40 a P faktor=1. Výsledné hodnoty smyvu byly zaznamenány do následující tabulky a grafu.

Tab. 11 Výsledky erozního smyvu dle jednotlivých metod

| číslo<br>linie | USLE         | WEPP  | USLE2D | ATLAS DMT |
|----------------|--------------|-------|--------|-----------|
|                | G [t/ha/rok] |       |        |           |
| 1              | 6.97         | 6.65  | 5.20   | 8.53      |
| 2              | 4.23         | 3.00  | 14.42  | 6.12      |
| 3              | 5.80         | 7.66  | 5.51   | 8.22      |
| 4              | 12.50        | 12.95 | 9.61   | 10.01     |
| 5              | 7.27         | 10.56 | 6.88   | 7.26      |
| 6              | 8.45         | 8.84  | 8.37   | 8.27      |
| 7              | 6.20         | 8.32  | 13.91  | 6.58      |
| 8              | 6.23         | 8.99  | 14.34  | 10.88     |
| 9              | 8.83         | 6.26  | 11.40  | 7.43      |
| 10             | 7.25         | 9.34  | 8.57   | 6.91      |
| 11             | 3.61         | 3.80  | 4.27   | 3.38      |
| 12             | 7.34         | 6.97  | 5.13   | 7.37      |
| 13             | 10.70        | 7.11  | 6.86   | 11.33     |
| 14             | 3.79         | 4.02  | 11.14  | 3.94      |
| 15             | 6.27         | 7.81  | 10.36  | 7.13      |
| 16             | 18.73        | 10.43 | 14.22  | 16.11     |
| 17             | 7.10         | 8.15  | 13.93  | 9.92      |
| 18             | 14.18        | 10.20 | 12.04  | 12.38     |
| 19             | 12.34        | 11.30 | 12.89  | 12.37     |
| 20             | 7.34         | 7.51  | 18.12  | 8.5       |
| 21             | 7.37         | 9.73  | 7.94   | 7.73      |
| 22             | 21.77        | 14.67 | 24.29  | 18.31     |



Graf 1 Porovnání erozního smyvu dle jednotlivých metod

Při použití metody USLE a Atlas DMT je výpočtová metoda stejná a vychází z univerzální rovnice Wischmeier – Smith, kdy se používají stejné vstupní parametry. Metody se liší pouze způsobem zadávání odtokových linií, kdy v metodě USLE byly kresleny ručně, zatímco program Atlas DMT přímo kreslil dráhu odtoku pomocí digitálního modelu terénu. Při vykreslování linií docházelo k nepřesnostem a výsledky výpočtu se díky tomu liší. Program Atlas DMT je tedy přesnější, protože vykreslení svahu a dráhy odtoku je přesně kopírované podle tvaru digitálního modelu terénu. K nevýhodám Atlasu DMT patří rozdělování linií vždy na deset intervalů, kdy při větších délkách odtokových linií může docházet k větší chybě při výpočtu K faktoru, který se určuje pro každý interval zvlášť. V metodě USLE lze linii rozdělit na libovolný počet intervalů a K faktor tak rovnoměrně rozdělit. V našem výpočtu byly voleny intervaly stejné, aby bylo možné metody porovnat.

Model USLE2D také používá k výpočtu univerzální rovnici ztráty půdy, ale oproti ostatním metodám neprovádí výpočet pouze na odtokové linii, ale na celém zájmovém území. Dostáváme tak rozšířený pohled na erozi v celém území a není třeba hledat vhodné reprezentativní linie. Při výběru nevhodné linie může dojít k velmi rozdílným výsledkům, proto je metoda USLE2D výhodná. Při porovnání s ostatními metodami dosahuje ve většině případů největších hodnot eroze půdy.

Model WEPP se od ostatních metod liší už výpočtem smyvu, protože nepoužívá univerzální rovnici ztráty půdy. Tento model ale jako jediný dokáže také pracovat se sedimentací půdy. Výsledky se ale oproti ruční metodě USLE příliš nelišily, protože vycházely ze stejné výpočtové linie.

Každá metoda má své výhody a nevýhody. U odtokových linií s větší délkou a s proměnlivým sklonem docházelo k větším rozdílům ve výsledcích. U linií s číslem 6 a 11 došlo k největší shodě výsledků.



## 7. Závěr

Eroze půdy je významným nebezpečím způsobující výrazné škody s následnými vysokými náklady na jejich odstranění. Vodní erozí je ohrožena ve velkém měřítku nejen zemědělská půda, ale i obce, kdy při přívalových deštích dochází k zaplavování silnic a rybníků vodou a ornici, nebo domků, které se tak plní transportovanými splaveninami z přilehlých pozemků. Dopad takto vzniklých škod může být nenávratný. Proto je důležité erozi minimalizovat a zabránit tak zvyšování škod. Toho lze dosáhnout vymezením ohrožených oblastí, monitoringem eroze zemědělské půdy a následným vybudováním protierozních opatření. Základem pro návrh opatření je právě vyhodnocení míry erozního ohrožení, které lze určit mnoha metodami.

V této práci jsem testovala metody vyhodnocení eroze pomocí USLE, USLE2D, modelu WEPP a programu Atlas DMT.

Model WEPP se od ostatních metod liší výpočtem smyvu, protože nepoužívá univerzální rovnici ztráty půdy, ale jako jediný umí pracovat se sedimentací půdy. Při srovnání metody USLE a programu Atlas DMT, kdy obě metody vycházejí z univerzální rovnice Wischmeier – Smith a používají stejné vstupní parametry, je vidět rozdíl ve výpočtu při zadávání odtokové linie, kdy dochází k nepřesnostem. Při srovnání metod USLE a USLE2D, která také používá k výpočtu univerzální rovnici ztráty půdy, mají obě metody podobné výsledky při výpočtu LS faktoru, ale výsledné hodnoty smyvu se v některých případech i několikanásobně liší. Model USLE2D oproti ostatním metodám neprovádí výpočet pouze na odtokové linii, ale na celém zájmovém území, což dává rozšířený pohled na erozi celého území. Metoda také patří k těm nejméně časově náročným.

V praxi je potřeba, aby výpočet erozního smyvu byl co nejjednodušší, méně časově náročný, aby dokázal zjistit současnou míru ohrožení půdy v odpovídající kvalitě a efekt dopadu navrhovaných protierozních opatření. Z těchto důvodů se metoda USLE2D jeví jako nejvhodnější a proto bych ji pro vyhodnocení míry erozního ohrožení doporučila.

## 8. Použité zdroje

- [1] Prohlížeč služba WMS - ZM 50. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz>
- [2] Prohlížeč služba WMS – CENIA Geomorfologie. Dostupné z: <http://geoportal.gov.cz>
- [3] Prohlížeč služba WMS – Geologická mapa 1:50 000. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz>
- [4] Prohlížeč služba WMS – CENIA Typy půd. Dostupné z: <http://geoportal.gov.cz>
- [5] PIETRASOVÁ, P. *Možnosti tenkých a tlustých klientů při správě a analýze krajinně typologických dat*. Olomouc, vydavatelství Univerzity Palackého v Olomouci, 2008.
- [6] Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci. *Předpis č. 327/1998 Sb.* 1998.
- [7] *Přehledná mapa povodí Tiché Orlice*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2006.
- [8] VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, V.V.I. *Nabídka mapových a datových produktů – Hydrologické charakteristiky* [online]. [cit. 2015-01-22]. Dostupné z: [http://www.vumop.cz/sites/File/Katalog\\_Map/20130529\\_katalogMap\\_Hydrologicke\\_charakteristiky.pdf](http://www.vumop.cz/sites/File/Katalog_Map/20130529_katalogMap_Hydrologicke_charakteristiky.pdf)
- [9] MIG ESP Klimatické regiony ČR. *Klimatické regiony ČR* [online]. [cit. 2014-12-18]. Dostupné z: <http://www.migesp.cz/klimaticke-regiony-cr>
- [10] VOPRAVIL, J., a kol. *Studie zabývající se základní problematikou eroze půdy a jejím současným stavem v Ústeckém a Jihomoravském kraji České republiky*. Praha: SOWAC, s. r. o., 2013.
- [11] DUMBROVSKÝ, M. *Modelování eroze půdy*.
- [12] JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. ČZU Praha, 2012.
- [13] DUMBROVSKÝ, M., MILERSKI, R. *Vodní hospodářství krajiny II*. FAST VUT Brno, 2005.
- [14] KADLEC, J. *Výpočet LS-faktoru (RUSLE) s využitím GIS a USLE2D*, 2006.
- [15] PENČEV, Filip. *ATLAS DMT – projektování a geodetické práce* [online]. [cit. 2015-01-22]. Dostupné z: <http://www.cad.cz/gis/80-gis/2254-atlas-dmt-projektovani-a-geodeticke-prace.html>

## 9. Seznam použitých zkratk a označení

### Zkratky

|             |   |
|-------------|---|
| ANSWERS     | Areal nonpoint source watershed environment response simulation |
| BPEJ        | Bonitované půdně ekologické jednotky                            |
| CN          | Curve number  |
| DMT         | Digitální model terénu  |
| GIS         | Geografický informační systém                                   |
| HPJ         | Hlavní půdní jednotka   |
| HSP         | Hydrologická skupina půd  |
| LPIS        | Registr využití zemědělské půdy                                 |
| MT          | Mírně teplá oblast  |
| MUSLE       | Modifikovaná univerzální rovnice ztráty půdy                    |
| RUSLE       | Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy                      |
| SMODERP     | Simulační model povrchového odtoku a erozního procesu           |
| USLE        | Univerzální rovnice ztráty půdy                                 |
| USPED       | Unit stream power – based erosion deposition                    |
| WATEM/SEDEM | Water and tillage erosion model/Sediment delivery model         |
| WEPP        | Water erosion prediction projection                             |
| WMS         | Web map service   |

### Označení

|                |  |
|----------------|--|
| A              | % organické hmoty  |
| B              | třída struktury ornice [-]   |
| C              | faktor ochranného vlivu vegetace [-]   |
| C              | třída propustnosti půdního profilu [-]                                       |
| D <sub>f</sub> | míra rýhové eroze [kg.s <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> ]                     |
| D <sub>i</sub> | dotace mezirýhového sedimentu do rýhy [kg.s <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> ] |

|          |  |
|----------|--|
| E        | celková kinetická energie deště [ $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ ]                                 |
| G        | průměrná roční ztráta půdy [ $\text{t}/\text{ha}/\text{rok}$ ]                                   |
| G        | množství sedimentu [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ ]                           |
| $I_{30}$ | max. 30minutová intenzita deště [ $\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ ]                                |
| K        | faktor erodovatelnosti deště [ $\text{t}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{h}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]   |
| L        | faktor délky svahu [-]   |
| l        | horizontální projekce délky svahu [m]  |
| LS       | topologický faktor [-]   |
| M        | součin (% prachu + % práškového písku) x (100 - % jílu)  |
| m        | exponent sklonu svahu vyjadřující náchylnost svahu k tvorbě rýžkové eroze [-]                    |
| P        | faktor protierozních opatření [-]  |
| R        | faktor erozní účinnosti deště [ $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ ] |
| S        | faktor sklonu svahu [-]  |
| x        | vzdálenost na svahu [m]  |
| $\theta$ | úhel sklonu svahu [rad; m/m]   |

## **10. Seznam obrázků, tabulek a grafů**

### **Obrázky**

Obr. 1 Přehledná situace zájmového území [1]

Obr. 2 Geomorfologické členění zájmového území [2]

Obr. 3 Geologické členění zájmového území [3]

Obr. 4 Pedologické členění zájmového území [4]

Obr. 5 Mapa hlavních půdních jednotek

Obr. 6 Přehledná mapa povodí Tiché Orlice [7] s vyznačením zájmového území

Obr. 7 Hydrografická síť a záplavová území

Obr. 8 Mapa hydrologických skupin půd

Obr. 9 Mapa sklonitostních poměrů

Obr. 10 Mapa klimatických oblastí [9] s vyznačením zájmového území

Obr. 11 Výpočtové linie na blocích LPIS

Obr. 12 Zobrazení K faktoru zájmového území

Obr. 13 Zobrazení C faktoru zájmového území

Obr. 14 Ukázka ručního výpočtu metodou USLE

Obr. 15 Digitální model terénu KÚ Dolní Dobrouč

Obr. 16 LS faktor KÚ Dolní Dobrouč

Obr. 17 Erozní smyv vygenerovaný pro KÚ Dolní Dobrouč

Obr. 18 Ukázka prostředí Slope profile editor

Obr. 19 Ukázka prostředí Management editor

Obr. 20 Ukázka prostředí Soil Database Editor

Obr. 21 Zobrazení tvaru odtokové linie a erozního smyvu

Obr. 22 Vyhodnocení erozního smyvu modelem WEPP

Obr. 23 Vykreslené tzv. kapky v programu Atlas DMT

Obr. 24 Detail vykreslených kapek v programu Atlas DMT

Obr. 25 Ukázka výpočtu smyvu půdy v programu Atlas DMT

## **Tabulky**

Tab. 1 Charakteristika pedologických poměrů

Tab. 2 Procentuální zastoupení podle HSP

Tab. 3 Srážkový úhrn a průměrné teploty pro Ústí nad Orlicí

Tab. 4 Hydrologické skupiny půd zájmového území a příslušný K faktor

Tab. 5 Výpočet průměrného C faktoru zájmového území

Tab. 6 Faktor sklonu svahu

Tab. 7 Faktor délky svahu

Tab. 8 Výpočet erozního smyvu

Tab. 9 Výsledky erozního smyvu dosaženého modelem WEPP

Tab. 10 Výsledky erozního smyvu vypočítaného v programu Atlas DMT pro  $C=0,204$

Tab. 11 Výsledky erozního smyvu dle jednotlivých metod

## **Grafy**

Graf 1 Porovnání erozního smyvu dle jednotlivých metod