

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra ekologie a životního prostředí



# **Zhodnocení vodní eroze na zemědělské půdě v katastrálním území Kunovice**

**Jiří Baran**

Diplomová práce

předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků

na získání titulu Mgr. v oboru

Ochrana a tvorba krajiny

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Bořivoj Šarapatka, CSc.

Olomouc 2013



Baran J. 2013: Zhodnocení vodní eroze na zemědělské půdě v katastrálním území. Kunovice [diplomová práce]. Olomouc: Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 42 s., v češtině.

## **Abstrakt**

Zrychlená eroze půdy je environmentální problém celosvětového měřítko. V České republice je ohrožena polovina agroekosystémů vodní erozí. To s sebou přináší riziko škod dotýkající se mnoha oblastí. Proto je nutné na základě erozního zhodnocení navrhnout taková opatření, pomoci nichž dojde k předcházení těchto škod. Za tímto účelem byly ve studii použity empirické modely WATEM/SEDEM, USPED, USLE 2D a USLE na území obce Kunovice. V tomto území je již aplikován ochranný management zákonných opatření GAEC. Jejich účinnost byla hodnocena vybranými modely na scénářích: ochranného osevního postupu a ochranného pěstování kukuřice. Výsledky byly také reklasifikovány do 6 (USLE, USLE2D) a 10 (USPED, WATEM/SEDEM) kategorií erozního ohrožení. Takto byla vyjádřena relativní četnost výskytu erozně ohrožených ploch a ploch neohrožených (USLE, USLE2D) a navíc výskytu ploch s depozicí (USPED, WATEM/SEDEM) v území. Z reklasifikovaných výsledků, byl také vyjádřen vliv modelů na absolutních četnosti dílčích rastrových elementů výsledků v kategoriích 1–10. Rozdílné výsledky modelů se také mohou odrážet v návrhu případných protierozních opatření.

Výsledky USPED a WATEM/SEDEM se lišily jak v mapových výstupech tak vyhodnocených kategoriích erozního ohrožení. Kdy USPED vyhodnotil při obou scénářích více ploch s erozním ohrožením a depozicí. Průměrná hodnota erozního smyvu vyhodnocena touto metodou je 2,88 t/ha/rok ( $\pm 255,95$ ) pro ochranný osevní postup a 4,30 t/ha/rok ( $\pm 311,3$ ) pro ochranné pěstování kukuřice. Výsledky WATEM/SEDEM převažují vyhodnocenými plochami bez erozního ohrožení. Tento přístup vyhodnotil průměrnou hodnotu erozního smyvu pro ochranný osevní postup 1,57 t/ha/rok ( $\pm 9,21$ ) a u ochranného pěstování kukuřice 2,3 t/ha/rok ( $\pm 13,75$ ). Zhodnocené výsledky USLE a USLE 2D se také liší v mapových výstupech, při vyhodnocení kategorií erozního ohrožení již tak rozdílné nejsou. Kdy při scénáři ochranného osevního postupu téměř shodně vyhodnotili podíl ploch bez erozního ohrožení a s ohrožením. V tomto případě je průměrná hodnota erozního smyvu pro USLE 2,21 t/ha/rok ( $\pm 3,9$ ) a USLE 2D 2,2 t/ha/rok ( $\pm 3,25$ ). Při ochranném pěstování kukuřice USLE 2D vyhodnotilo více ploch erozně ohrožených při průměrném erozním smyvu 3,2 t/ha/rok ( $\pm 4,77$ ) u USLE tato hodnota činí 3,4 t/ha/rok ( $\pm 6,26$ ).

Při obou scénářích byly opatření GAEC vyhodnoceny všemi modely jako nedostačující. Speciálně pro ochranné pěstování kukuřice, pro něž byly navrženy doplňující protierozní opatření. Tím se zvýšila účinnost GAEC o 37–37,5 %.



Baran J. (2013): Assessment of water erosion on farmland in the Kunovice district [diploma thesis]. Olomouc: Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University in Olomouc, 42 pp., in Czech.

## **Abstract**

Accelerated soil erosion is an environmental problem of global scale. Half of Czech agroecosystems are threatened by water erosion. This brings the risk of damage that influences many spheres. Therefore, it is necessary to evaluate the erosion risk and, on the basis of this, propose measures which will help to prevent the damage. For this aim the study makes use of empirical models WATEM/SEDEM, USPED, USLE, USLE 2D in the Kunovice district. In this area GAEC protective legal measures have already been applied. Their effectiveness was evaluated by selected models on the following scenarios: protective crop rotation and protective cultivation of maize. The results have been reclassified into 6 (USLE, USLE2D) and 10 (USPED, WATEM/SEDEM) erosion hazard categories. This provided an indication of the relative frequency of occurrence of erosion risk areas and areas free from erosion risk (USLE, USLE 2D) as well as areas of deposition (USPED, WATEM/SEDEM). From reclassified results it was also possible to express the effect of models on absolute frequency of partial raster elements in categories 1–10. The different results of models can be reflected in the design of erosion control measures.

The results of USPED and WATEM/SEDEM were different in map outputs and evaluated categories of erosion risk. USPED evaluated extensive areas of erosion risk and deposition in both scenarios. The average value of erosion loss evaluated by this method is 2.88 t/ha/y ( $\pm 255.95$ ) for protective crop rotation and 4.30 t/ha/y ( $\pm 311.3$ ) for protective cultivation of maize. The results of WATEM/SEDEM indicate greater areas without erosion risk. This approach evaluated an average value of erosion loss for protective crop rotation of 1.57 t/ha/y ( $\pm 9.21$ ) and 2.3 ( $\pm 13.75$ ) for protective cultivation of maize. Evaluation of the results of USLE and USLE 2D also differ in map outputs. The evaluation of categories of erosion threat do not differ so greatly. In the scenario of protective crop rotation both models almost identically evaluate the proportion of erosion hazard areas and hazard-free areas. In this scenario the average value of erosion loss is 2.21 t/ha/y ( $\pm 3.9$ ) for USLE and 2.2 t/ha/y ( $\pm 3.25$ ) for USLE 2D. In the scenario of protective cultivation of maize USLE 2D evaluates more areas with erosion risk and the average value of erosion loss is 3.2 t/ha/y ( $\pm 4.77$ ), USLE evaluates an average value

of erosion loss of 3.4 t/ha/y ( $\pm 6.26$ ). In both scenarios GAEC measures were evaluated by all models as inadequate, especially for protective cultivation of maize. Therefore additional erosion measures were designed. This increased the efficiency of GAEC by about 37–37.5%.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením prof. Dr. Ing. Bořivoje Šarapatky, CSc. s použitím citované literatury.

V Olomouci 7. května 2013

Podpis

# Obsah

Seznam tabulek.....	ix
Seznam grafů .....	ix
Seznam obrázků.....	ix
Seznam příloh .....	ix
1. Úvod.....	1
1.1 Protierozní opatření.....	2
1.2 Možnosti hodnocení erozního ohrožení.....	3
Cíle práce.....	4
3. Materiály a metody.....	5
3.1 Popis studované lokality .....	5
3.2 Metodika hodnocení výsledků erozního ohrožení.....	5
3.3 Metodika hodnocení erozního ohrožení.....	7
3.3.1 Universální rovnice pro výpočet ztráty půdy erozí .....	7
3.3.1 USLE 2D .....	10
3.3.2 USLE .....	12
3.3.3 WATEM/SEDEM .....	14
3.3.4 USPED.....	17
3.4 Návrh protierozních opatření .....	19
4. Výsledky .....	24
4.1 USPED.....	24
4.2 WATEM/SEDEM .....	24
4.3 USLE.....	26
4.4 USLE 2D .....	26
4.5 Návrh protierozních opatření .....	28
5. Diskuze a závěr.....	30
6. Souhrn.....	35
7. Literatura.....	36
Přílohy .....	43
Mapy .....	43
Fotografie.....	49

## Seznam tabulek

TAB. 1 DĚLENÍ EROZNÍHO OHROŽENÍ VÝSLEDKŮ.....	7
TAB. 2 VSTUPNÍ DATA K MODELU USLE 2D .....	12
TAB. 3 VSTUPNÍ DATA K METODĚ USLE .....	14
TAB. 4 VSTUPNÍ DATA K MODELU WATEM/SEDEM .....	17
TAB. 5 VSTUPNÍ DATA K MODELU USPED.....	19
TAB. 6 VSTUPNÍ DATA PEO K MODELU USLE 2D.....	23
TAB. 7 VSTUPNÍ DATA PEO K MODELU WATEM/SEDEM.....	23
TAB. 8 POČTY RASTROVÝCH ELEMENTŮ VÝSLEDKŮ USPED, WATEM/SEDEM V KATEGORIÍCH EROZNÍHO OHROŽENÍ .....	26
TAB. 9 POČTY RASTROVÝCH ELEMENTŮ VÝSLEDKŮ USLE, USLE2D V KATEGORIÍCH EROZNÍHO OHROŽENÍ .....	27
TAB. 10 VYUŽITÍ ÚZEMÍ PŘED A PO NÁVRHU PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ .....	28
TAB. 11 SHRNUÍ VÝSLEDKŮ OCHRANNÉHO OSEVNÍHO POSTUPU (USLE, USLE 2D).....	32
TAB. 12 SHRNUÍ VÝSLEDKŮ OCHRANNÉHO PĚSTOVÁNÍ KUKUŘICE (USLE, USLE 2D).....	32
TAB. 13 SHRNUÍ VÝSLEDKŮ OCHRANNÉHO OSEVNÍHO POSTUPU (USPED, WATEM/SEDEM) .	32
TAB. 14 SHRNUÍ VÝSLEDKŮ OCHRANNÉHO PĚSTOVÁNÍ KUKUŘICE (USPED, WATEM/SEDEM)	32

## Seznam grafů

GRAF 1 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ USPED - OSEVNÍ POSTUP.....	25
GRAF 2 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ USPED - OCHRANNÉ PĚSTOVÁNÍ KUKUŘICE .....	25
GRAF 3 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ WATEM/SEDEM - OSEVNÍ POSTUP .....	25
GRAF 4 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ WATEM/SEDEM - OCHRANNÉ PĚSTOVÁNÍ KUKUŘICE .....	25
GRAF 5 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ USLE - OSEVNÍ POSTUP.....	27
GRAF 6 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ USLE - OCHRANNÉ PĚSTOVÁNÍ KUKUŘICE .....	27
GRAF 7 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ USLE 2D - OSEVNÍ POSTUP .....	27
GRAF 8 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ USLE 2D - OCHRANNÉ PĚSTOVÁNÍ KUKUŘICE.....	27

## Seznam obrázků

OBR. 1 STUDOVANÉ ÚZEMÍ .....	6
OBR. 2 VÝŠKOVÉ POMĚRY STUDOVANÉHO ÚZEMÍ .....	6
OBR. 3 SKLONITOSTNÍ POMĚRY STUDOVANÉHO ÚZEMÍ.....	6
OBR. 4 OCHRANNÁ OPATŘENÍ GAEC VE STUDOVANÉM ÚZEMÍ.....	6
OBR. 5 PROSTŘEDÍ WATEM/SEDEM .....	17

## Seznam příloh

MAPA 1 EROZNÍ PROCESY PŘI OCHRANNÉM OSEVNÍM POSTUPU - USPED .....	43
MAPA 2 EROZNÍ PROCESY PŘI OCHRANNÉM PĚSTOVÁNÍ KUKUŘICE - USPED.....	44
MAPA 3 EROZNÍ PROCESY PŘI OCHRANNÉM OSEVNÍM POSTUPU - WATEM/SEDEM .....	44
MAPA 4 EROZNÍ PROCESY PŘI OCHRANNÉM PĚSTOVÁNÍ KUKUŘICE - WATEM/SEDEM .....	45
MAPA 5 EROZNÍ PROCESY PŘI OCHRANNÉM OSEVNÍM POSTUPU - USLE .....	45
MAPA 6 EROZNÍ PROCESY PŘI OCHRANNÉM PĚSTOVÁNÍ KUKUŘICE - USLE.....	46
MAPA 7 EROZNÍ PROCESY PŘI OCHRANNÉM OSEVNÍM POSTUPU - USLE 2D.....	46

MAPA 8 EROZNÍ PROCESY PŘI OCHRANNÉM PĚSTOVÁNÍ KUKUŘICE - USLE 2D .....	47
MAPA 9 NÁVRH PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ.....	47
MAPA 10 EROZNÍ PROCESY PŘI NÁVRHU PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ - WATEM/SEDEM .....	48
MAPA 11 EROZNÍ PROCESY PŘI NÁVRHU PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ - USLE 2D .....	48
FOTOGRAFIE 1 EROZNÍ RÝHY VZNIKLÉ V NÁVZNMOSTI NA ZAKLÁDÁNÍ POROSTU .....	49
FOTOGRAFIE 2 DRÁHA SOUSTŘEDĚNÉHO ODTOKU 1 .....	49
FOTOGRAFIE 3 POROSTY KUKUŘICE OHROŽENÉ EROZÍ.....	50
FOTOGRAFIE 4 DRÁHA SOUSTŘEDĚNÉHO ODTOKU 2 .....	50
FOTOGRAFIE 5 SPLACH Z POLÍ PO PŘÍVALOVÉM DEŠTI (AUTOR J. HAŠA) .....	51
FOTOGRAFIE 6 NEDOSTATEČNÁ BUFFER ZÓNA PODÉL TOKU.....	51

## Seznam zkratk

BPEJ – Bonitovaná půdně ekologická jednotka

ČHMÚ – Český hydrometeorologický úřad

ČÚZK – Český úřad zeměměřičský a katastrální

DEM – Digital elevation model

DPB – Díl půdního bloku

GAEC – Good agricultural and environmental condition

GIS – Geografický informační systém

HPJ – Hlavní půdní jednotka

LIDAR – Light detection and ranging

LPEO – Liniové protierozní opatření

LPIS – Land parcel information system

MEO – Mírně erozně ohrožená plocha

MZe – Ministerstvo zemědělství České republiky

MŽP – Ministerstvo životního prostředí České republiky

PB – Půdní blok

PEO – Protierozní opatření

PPEO – Plošná protierozní opatření

RUSLE – Revised universal soil loss equation

SEO – Silně erozně ohrožená plocha

SRTM – Shuttle radar topography mission

USPED – United stream power - based Erosion/Deposition model

VÚMOP – Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd v.v.i.

WATEM/SEDEM – Water nad tillage erosion model/Sediment delivery model

ZABAGED – Základní báze geografických dat

ZPF – Zemědělský půdní fond

## Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu práce prof. Dr. Ing. Bořivoji Šarapatkovi, CSc. za svědomité vedení a pomoc při tvorbě této práce. Také Ing. Marku Bednáři za pomoc při práci s GIS a cenné konzultace. Právě těmito dvěma lidem patří největší dík. Dále chci poděkovat Ing. Josefu Hašovi a Ing. Radku Sommerovi za cenné informace k studované lokalitě. Mé díky také patří Ing. Františku Pavlíkovi za poskytnuté materiály a Ině Lecki, bez jejíž korektury by cizojazyčný abstrakt nedosáhl takových kvalit.

Nemohu opomenout podporu svých nejbližších, za kterou jim děkuji!



# 1. Úvod

Eroze je přírodní proces, kdy působením hlavně větru a vody, příp. jiných činitelů, dochází k rozrušování povrchu půdy a transportu půdních částic (Cáblík, Jůva 1963; Janeček et al. 2002). V práci řešená vodní eroze je založena na rozrušování zemského povrchu dešťovými kapkami a povrchovým odtokem (Janeček 2002; Toy et al. 2002). Kdy při dešti dopadající kapka narušuje půdní agregáty a uvolňuje půdní částice (Fulajtár, Jánský 2001; Janeček 2002). Povrchově odtékající voda, která se po dešti nestačí vsakovat, zapřičiňuje erozi odtokovou (Zachar 1970 ex Fulajtár, Jánský 2001). Ta se dále projevuje jako liniová či plošná. Tento proces má za následek zhoršení kvality půdy (Pimentel, Kounang 1998; Fulajtár, Jánský 2002). Na intenzitě, vzniku a průběhu procesu se podílí přírodní a člověkem podmíněné podmínky (klimatické a hydrologické, morfologické, vegetační, geologické a půdní, hospodářsko-technické) (Cáblík, Jůva 1963; Janeček et al. 2002; Toy et al. 2002). Vlivem lidské činnosti a využívání půdy (pěstování plodin, pastva, lesnictví a jiné), je půda náchylnější k erozi a zvyšuje se její rychlost. Takto člověkem podpořenou erozi definujeme jako erozi zrychlenou (Cáblík, Jůva 1963; Zachar 1970 ex Fulajtár, Jánský 2001; Bennet 1939 ex Janeček et al. 2002).

V České republice je erozí ohroženo přes 40 % zemědělsky obhospodařované půdy (Šarapatka et al. 2008). Na Slovensku je ohroženo kolem 38 % ZPF projevy vysoké a extrémní eroze (Kobza et al. 2005). V Německu předpokládají průměrný smyv z orné půdy 5.5 t/ha/rok na ploše 37 % rozlohy země (Auerswald 2006). Celosvětově Pimentel et al. (1995) uvádí, že je postiženo 80 % zemědělské půdy těžkou, nebo středně těžkou formou eroze. Eroze je tedy proces globálního významu. Mnoho zemědělských půd je erodováno v rozmezí hodnot 13 t/ha/rok-40 t/ha/rok, což znamená, že se půda ztrácí 13-40krát rychleji, než je rychlost její obnovy (Pimentel, Kounang 1998).

Dopady eroze půdy zapřičiňují velké škody jak na místě působení erozních činitelů (on-site efekty), tak i mimo působení těchto činitelů (off-site efekty) (Favis-Mortlock 2005). V rámci tohoto rozdělení lze zmínit snížení obsahu živin ve svrchní vrstvě půdy a redukováná vodní kapacita půdy (Favis-Mortlock 2005), dále eutrofizaci, sedimentaci, bahnitě záplavy silnic, usedlostí a následné náklady na odstranění škod (Tlapák, Kratochvíl 1982, Favis-Mortlock 2005). Například USA ročně vynakládá

přibližně mezi 30 mld. \$ (Uri, Lewis 1998 ex Morgan 2005) a 40 mld. \$ na nápravu škod (Pimentel et al. 1993 ex Morgan 2005), ve Velké Británii tyto náklady činí 90 milionů £ (Environment Agency 2002 ex Morgan 2005). V České republice jsou odhadovány škody na erodované půdě v hodnotě minimálně 4,3 mld. korun (MZe 2011). Půda je od neolitu hlavním prostředkem pro získávání obživy lidstva. Její degradace je jedna z největších hrozeb pro celosvětovou bezpečnost a produkci potravin (Lal 2000; Lafond et al. 2006). Je sice nepravděpodobné, že by v tomto století byla v Evropě erozí ovlivněna produkce potravin (z důvodů technologické inovace a odolnosti produktivity). Existuje však variabilita v jejím prostorovém působení (Bakker et al. 2007)

### **1.1 Protierozní opatření**

Ze závažnosti problému vodní eroze je patrné, že je nutné na postižených místech zavést účinná protierozní opatření. Většinou jde o komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření, která se vzájemně doplňují a respektují požadavky zemědělské výroby (Janeček et al. 2002; Šarapatka et al. 2002). Hlavním účelem opatření na ochranu půd před erozí je:

- chránit půdu před vlivem dopadajících kapek deště,
- podporovat vsak vody do půdy,
- zlepšovat soudržnost půdy,
- omezit unášecí sílu vody a soustředěného povrchového odtoku,
- neškodně odvádět povrchově odtékající vodu a zachycovat smytou zeminu (Janeček et al. 2002; Morgan 2005). V tomto duchu se protierozní ochrana zakládá na ovlivnění jednotlivých erozních činitelů (kromě činitelů klimatických) opatřeními organizačními, agrotechnickými a technickými (Janeček et al. 2002; Šarapatka et al. 2002; Morgan 2005).

Jedním z nástrojů jak začlenit ochranná opatření do intenzivního zemědělského hospodaření jsou zákonná opatření Dobrého zemědělského a environmentálního stavu (GAEC). Hospodaření v souladu s těmito opatřeními je jednou z podmínek poskytnutí žadatelům plné výše přímých plateb, některých podpor z osy II Programu rozvoje venkova a některých podpor společné organizace trhu s vínem (nařízení vlády 479/2009 sb.). Ve vztahu k těmto opatřením však upozorňuje Šarapatka et al. (2011) na

nedostatečnou ochranu půdy, kdy absence individuálního přístupu snižuje účinnost opatření.

## 1.2 Možnosti hodnocení erozního ohrožení

Pro umístění a návrh opatření chránicí půdy je důležité kvantitativní hodnocení erozních procesů v území. Nejpoužívanější metodou je tzv. Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí (Wischmeier, Smith 1978) (Krása 2010). Tento empirický model byl odvozen ze statistických analýz velkého množství dat (Ouyang 2002). Oproti náročným fyzikálním modelům (popisující fyzikální podstatu problému) je jednoduchý, s dobrou dostupností vstupních dat. Zpracování se dnes vytváří v převážné většině za pomoci výpočetní techniky (Krása 2010). Výpočty jsou vytvářeny s podporou mapových dat zpracovaných na počítačích, kdy je základní složkou tvorby vstupních dat do erozních modelů práce s geografickými informačními systémy (GIS) (Dostál et al. 2009 ex Krása 2010). Existuje řada modelů a metod vycházejících z principů zmiňované rovnice, z nichž USPED (Mitášová et al. 1996; Mitáš, Mitášová 1998), WATEM/SEDEM (Van Oost et al. 2000, Van Rompaey et al. 2001), USLE 2D (Desmet, Govers 1996a), USLE dle Mitášové et al. (1996) jsou pro svou nenáročnost na vstupní data použity v této práci. USLE2D a USLE jsou například doporučovány MZe (2010) pro vytvoření podkladů komplexních pozemkových úprav. V tomto procesu dle zákona č. 139/2002 Sb. je jednou z priorit řešení protierozní ochrany území. Porovnáním těchto dvou přístupů se zabývala Holubová (2009 ex Krása 2010). Oproti USLE, USLE2D nabízí USPED a WATEM/SEDEM, kromě výsledků erozního smyvu i hodnoty depozice. To dle Warrena (2005), studujícího USPED a USLE, přineslo rozdíly ve výsledcích, neboť USLE předpovídalo erozi na místech depozice erodovaného sedimentu. To zmiňuje i Mitášová et al. (1997). Na odlišnosti také upozornilo zhodnocení erozních procesů modely USPED a WATEM/SEDEM Vysloužilovou a Klimentem (2012). Autoři také zmiňují poměrně malé zkušenosti s aplikací těchto modelů v podmínkách České republiky.

## **Cíle práce**

Hlavní cíl práce je zhodnocení problému vodní eroze v zájmovém území obce Kunovice. S ohledem na aktuální praxi, je zhodnocení vytvořeno pro ochranná opatření GAEC a to scénáře začlenění ochranného osevního postupu a ochranného pěstování kukuřice. Zde nastává otázka, zda současná praxe má dostačující účinek na protierozní ochranu. Bude-li účinek vyhodnocen jako nedostačující, je také cílem navrhnout opatření podporující ochrannou funkci tohoto managementu s důrazem na funkci krajinyotvornou. Další otázka přichází se samotným zhodnocením erozního ohrožení, kdy jsou v práci použity čtyři erozní modely (USPED, USLE, WATEM/SEDEM, USLE2D). Cílem je nejen získat zkušenosti s užitím těchto přístupů v našich podmínkách, ale i případně poukázat, zda-li různé metody výpočtů mohou mít vliv na hodnocení erozního ohrožení území a tedy i návrh protierozních opatření. Výsledky práce mohou být použity jako návrh pro praktické využití.

## 3. Materiály a metody

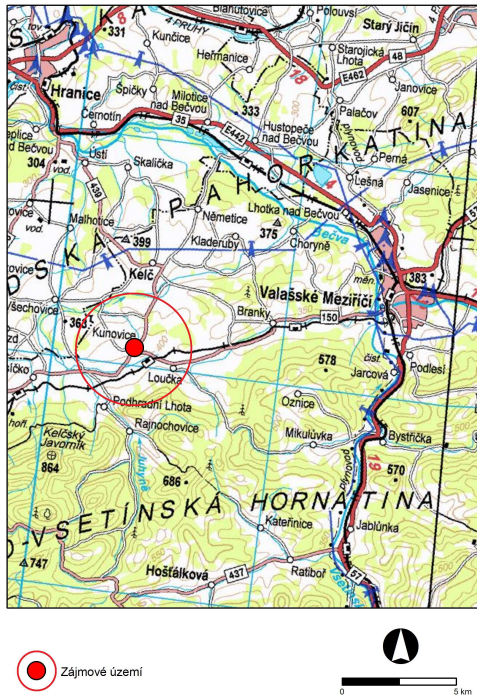
### 3.1 Popis studované lokality

Studovaná lokalita se nachází na zemědělsky obhospodařované půdě katastru obce Kunovice v okrese Vsetín (obr. 1). Obec se geomorfologicky člení na Kelečskou pahorkatinu (sever území) a Hostýnské vrchy (jih území) (MŽP). Lokalita se nachází ve středních nadmořských výškách (obr. 2) (ČÚZK). Z hlediska klimatického se území nalézá na pomezí teplé a mírně teplé oblasti (MŽP). Celkově území vytváří 509,81 ha zemědělské půdy. Tu tvoří především bezorebně obhospodařovaná orná půda (423,64 ha), která je situována v severní části území. Zbýlých 86,17 ha vytváří travní porosty, které jsou z převážně části situovány v jižní části území.

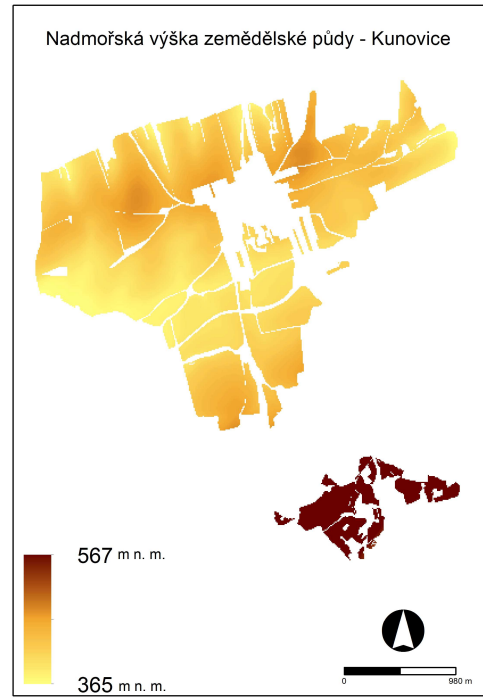
Z hlediska eroze je důležitá sklonitost území (obr. 3), která tento jev ovlivňuje. Dále mají vliv půdní typy, v lokalitě převládají kambizemě. V území jsou z hlediska hospodaření dodržována protierozní opatření GAEC pro MEO a SEO, na obr. 4 jsou znázorněny půdní bloky dotčené těmito opatřeními. Na MEO je v souladu s tímto opatřením dodržován ochranný osevní postup pšenice ozimá, ječmen oz., řepka oz., pšenice oz., kukuřice, pšenice oz. Na SEO je dodržován ochranný osevní postup pšenice oz., ječmen oz., řepka oz., pšenice oz., oves, ječmen oz., řepka oz.

### 3.2 Metodika hodnocení výsledků erozního ohrožení

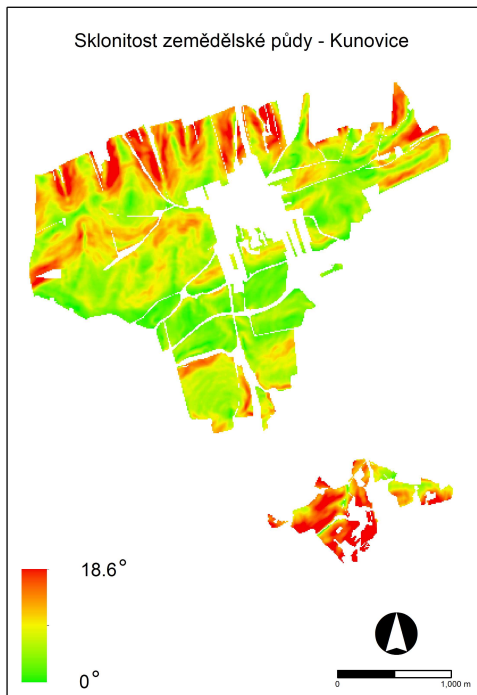
Zpracování erozního ohrožení území bylo provedeno erozními modely USPED, USLE, USLE2D a WATEM/SEDEM (viz níže). Modely bylo vyhodnoceno erozní ohrožení území podle dvou scénářů: ochranný osevní postup (pro MEO, SEO) a ochranné pěstování kukuřice. Výsledné mapy byly vytvořeny s použitím software ArcMap 10 (ArcGIS, Esri). Z mapových výstupů USPED a WATEM/SEDEM byly patrné maximální hodnoty eroze (záporné) i depozice (kladné), s nimiž bylo dále pracováno. Výsledky USLE a USLE 2D poskytly míru eroze v kladných hodnotách. Výsledky pak byly dále reklasifikovány do 6 (USLE, USLE2D) a 10 (USPED, WATEM/SEDEM) kategorií erozního ohrožení (Tab. 1). Takto byla vyjádřena relativní četnost výskytu erozně ohrožených ploch a ploch neohrožených (USLE, USLE2D) a navíc výskytu ploch s depozicí (USPED, WATEM/SEDEM) v území.



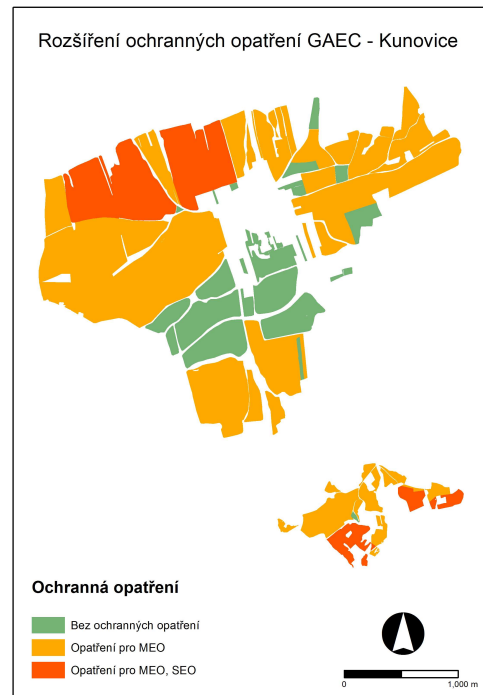
Obr. 1 Studované území



Obr. 2 Výškové poměry studovaného území



Obr. 3 Sklonitostní poměry studovaného území



Obr. 4 Ochranná opatření GAEC ve studovaném území

Z reklasifikovaných výsledků byly následně vytvořeny grafy (ArcMap 10, ArcGIS, Esri) a tabulky (Excel, Microsoft Office 2003) pro znázornění absolutních četností dílčích rastrových elementů (pixelů) výsledků v kategoriích 1–10. Vyjádření vlivu bylo podpořeno výstupy základních popisných statistik rastrových výstupů (průměr, směrodatná odchylka).

Na základě výsledků byla navržena (dle postupu uvedeného níže) protierozní opatření na erozně ohrožených plochách území. Návrh opatření byl vytvořen pro scénář ochranného pěstování kukuřice, zde je předpoklad nižší ochranné funkce a tedy návrh pro tento scénář by měl pokrýt i ohrožené plochy při ochranném osevním postupu.

KATEGORIE	HODNOTA (t/ha/rok)	HODNOCENÍ
1	0–(-)4	PŘÍPUSTNÁ
2	(-)4,1–(-)10	MEZ
3	(-)10,1–(-)20	EROZE
4	(-)20,1–(-)30	
5	(-)30,1–(-)40	
6	(-)40<	
7	0-10	DEPOZICE
8	10,1–50	
9	50,1–100	
10	100<	

Tab. 1 Dělení erozního ohrožení výsledků

### 3.3 Metodika hodnocení erozního ohrožení

#### 3.3.1 Universální rovnice pro výpočet ztráty půdy erozí

Pro kvantitativní hodnocení erozních procesů je nejpoužívanější v úvodu zmíněná tzv. Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí (Universal soil loss equation, Wischmeier, Smith 1978 ex Janeček et al. 2002). Vychází z principu přípustné ztráty půdy na jednotkovém pozemku o délce 22,13 m s 9% sklonem. Z této rovnice vychází zpracování erozních modelů použitých v této práci na základě vztahu:

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

kde: G – průměrná dlouhodobá ztráta půdy erozí (t/ha/rok)

R – faktor erozní účinnosti deště – vyjádřený v závislosti intenzity, množství a kinetické energie deště

K – faktor erodovatelnosti půdy – vyjadřuje se v závislosti na textuře a struktuře půdy, obsahu organické hmoty a zrnitosti náchylnost k erozi půdy v t/ha na jednotku erozní účinnosti deště

L – faktor délky svahu, vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy

S – faktor sklonu svahu, vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy

C – faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu, vyjádřený v závislosti vývoje vegetace a použité agrotechnice

P – faktor účinnosti protierozních opatření

- Faktor erozní účinnosti deště (R)

Vztah byl odvozen na základě zpracování velkého množství dat o dešťových srážkách.

Při konstantnosti ostatních faktorů rovnice je vztah:

$$R = E * i_{30}/100$$

kde: R – faktor erozní účinnosti deště (MJ/ha \* cm/h)

E – celková kinetická energie (J/m<sup>2</sup>),

i<sub>30</sub> – max. 30-minutová intenzita deště (cm/h)

Faktor tedy závisí na četnosti výskytu srážek, jejich kinetice, intenzitě a úhrnu. Pro území České republiky uvádíme průměrnou hodnou  $R = 20 \text{ MJ/ha*cm/h}$  z ombrografických pozorování ČHMU za období 50 let pro definovaný úhrn a intenzitu deště (Janeček et al. 2002). S využitím nově zpracovaných dat dlouhodobého měření bude možné přesněji stanovit R faktor pro území České republiky.

- Faktor erodovatelnosti půdy (K)

Vlastnosti půdy k infiltraci vody a odolnost půdních agregátů proti rozrušujícímu vlivu dopadajících dešťových kapek a transportu povrchově odtékající vody. K-faktor je definován jako ztráta půdy v t/ha na jednotku R faktoru (MJ/ha\*cm/h).

Faktor lze stanovit třemi postupy:

1. podle vztahu odvozeného pro faktor K
2. podle nomogramu sestrojeného na základě uvedeného vztahu
3. přibližně podle hlavní půdní jednotky (HPJ) bonitační soustavy půd



Při prvních dvou postupech je třeba mít základní údaje o dané půdě. Pro rámcové posouzení erozní ohroženosti je možné použít přibližné stanovení podle HPJ (Janeček et al. 2007).

V práci je hodnota K faktoru získána z HPJ dle mapy BPEJ poskytnutou Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půd. Hodnota byla odvozena na základu převodní tabulky podle Janečka et al. (2007).

- Topografický faktor sklonu a délky svahu (L, S)

Vliv S a L faktorů na intenzitu eroze je vyjádřen jako tzv. topografický faktor LS. Tento faktor představuje ztrátu půdy na jednotkovém pozemku.

L faktor je určen jako horizontální vzdálenost mezi místem vzniku povrchového odtoku a bodem, kde dochází k ukládání erodovaného materiálu.

S faktor ovlivňuje svým vzrůstem ztrátu půdy více než vzrůstající L-faktor (Janeček et al. 2007). V práci je hodnota vytvořena dle metodiky jednotlivých modelů (viz níže). K tomu byl použit digitální model terénu (DEM) vytvořený z dat ZABAGED (Český ústav zeměměřičský a katastrální).

- Faktor ochranného vlivu vegetace (C)

Vliv C faktoru na smyv půdy se projevuje jak přímou ochranou povrchu před působením dopadajících dešťových kapek a zpomalením rychlosti povrchového odtoku, tak nepřímou působením na půdní vlastnosti a zpevněním půdy kořenovým systémem. Ochranný vliv vegetace je přímo úměrný pokryvnosti a hustotě porostu v období přívalových dešťů (duben–září). Jako dokonalá ochrana se jeví porosty trav a jetelovin oproti běžným způsobem pěstovaným porostům širokořádkových plodin (Janeček et al. 2007)

Pro řešení protierozní ochrany pozemků a jejich dlouhodobé erozní ohroženosti se C-faktor stanoví v 5 obdobích (Wischmeier, Smith 1978 ex Janeček et al. 2007):

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 ozimu do 30.4.,
4. období od konce 3. období do sklizně,
5. období strniště.

Hodnoty C faktoru byly stanoveny dle Janečka et al. (2007) na základě plodin zahrnutých v osevních postupech uplatňovaných v území (viz Tab. 2–7). Dále byla zahrnuta použitá agrotechnika. K vymezení land-use byla použita data z LPIS (Sitewell s.r.o. 2004).

- Faktor účinnosti protierozních opatření (P)

Hodnoty P faktoru se podle Wischmeiera a Smithe (1978) (ex Janeček et al. 2002) určují v rozmezí 0–1 kombinací sklonu svahu a protierozního opatření. Když nelze předpokládat, že by byly dodrženy podmínky maximálních délek pozemků a počtů pásů při pásovém střídání plodin, nelze s uvedenou účinností příslušného opatření vyjádřenou hodnotami faktoru P při výpočtu průměrné dlouhodobé ztráty půdy počítat a hodnota faktoru  $P = 1$  (Janeček et al. 2007).

K jednotlivým faktorům byla vytvořena z výše zmíněných zdrojů vstupní rastrová data dle požadavků modelů. Rastrová data se odlišují rozlišením, pro modely USLE, USLE 2D bylo zvoleno rozlišení 10x10m, a pro USPED, WATEM/SEDEM 20x20m. Rozlišení byla stanovena na základě doporučení pro realizaci modelu WATEM/SEDEM, stejné rozlišení bylo zvoleno i pro erozně-sedimentační model USPED.

### 3.3.1 USLE 2D

USLE 2D je speciální program pro stanovení LS faktoru vytvořený na Physical and Regional Geography Research Group (Katolická univerzita Leuven, Belgie). V reálném dvourozměrném prostředí povrchový tok a výsledná ztráta půdy nezáleží tak úplně jen na délce dráhy odtoku nebo stoupání svahu, ale i na ploše z níž je odtok soustředěn do námi počítaného bodu (Van Oost, Govers 2000). Desmet a Govers (1996a) upozorňují, že při srovnání stanovení hodnoty LS ruční metodou s počítačovým algoritmem přinášejí obě metody celkem podobné výsledky (v případě relativního mapování erozního rizika). Nicméně zdůrazňují značný rozdíl v absolutních hodnotách. Přestože obě metody mají podobné svahové hodnoty, použití ruční metody vede k podhodnocení erozního rizika, protože nezahrnuje vliv konvergence/divergence toku. USLE 2D řeší tento problém nahrazením délky odtokové dráhy (L) tzv. zdrojovou plochou (dílčím povodím) rastrového elementu.

Autoři navrhují tento vztah pro LS:

$$L_{i,j} = (A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j-in}^{m+1} / D^{m+2} * X_{i,j}^m * (22,13)^m$$

kde:

$L_{i,j}$  – faktor délky svahu pro buňku rastru se souřadnicemi (i,j),

$A_{i,j-in}$  – přispívající plocha do buňky rastru se souřadnicemi (i,j) ( $m^2$ ),

$D$  – délka buňky rastru (m),

$X_{i,j}$  –  $\sin \alpha_{i,j} + \cos \alpha_{i,j}$ ,

$\alpha_{i,j}$  – orientace vůči světovým stranám buňky se souřadnicemi (i,j),

$m$  – exponent délky svahu.

Využití výpočetní techniky přináší další zřejmou výhodu a to snadné propojení s GIS. Pokud jsou dostupná data o land-use a půdě (hodnoty K, C, P), lze pak pomocí rastrových operací a operací mapové algebry předpovídat ztráty půdy. Samotný LS faktor je pak vytvořen z DEM a tzv. vrstvy parcel (pozemků), která rozčleňuje území na dílčí plochy. Výpočet vychází z předpokladu, že hranice mezi dílčími plochami působí jako překážka pro plošný povrchový odtok, kde dochází k přerušení odtoku. Tím se snižuje délka odtokové dráhy a tak hodnota faktoru L délky svahu. Podle výpočetního algoritmu je faktor LS počítán zvlášť pro každý rastrový element.

Postup zpracování:

Nejprve je nutné vytvořit vrstvu parcel tak, že ke každému rastrovému elementu je přiřazena číselná hodnota (celé číslo). Vznikne tak klasifikace elementů, kdy hodnota 0 určuje území bez počítaného LS faktoru a hodnoty  $> 0$  určují pozemky, kde je počítán LS faktor. Tímto dochází na rozhraní mezi různými hodnotami k přerušení povrchového odtoku (efekt hranice). Takto připravenou vrstvu parcel s vytvořeným DEM musíme převést, pro požadavky USLE 2D, do formátu Idrisi prostřednictvím programu LS converter. Po převedení dat a vložení do programu bylo v možnostech výpočtu zvoleno dle Kadlec (2006) Routing algorithm: flux decomposition pro větvení odtokové dráhy (Desmet, Govers 1996b) a LS algorithm: McCool (McCool et al. 1987,1989 ex Van Rompaey et al. 2001). Vytvořený LS faktor po zpětném převedení byl zpracován s vrstvami ostatních faktorů dle Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí pomocí Raster calculator v prostředí GIS. Použití programu je limitováno aplikací v operačních systémech Windows XP a nižší.

Faktor <sup>a</sup>	Vstupní digitální data	Zdroj	Metoda odvození	Hodnota
R	Ombrografická měření	ČHMÚ	Janeček et al. (2007)	20 MJ/ha/cm/h 1
K	Půdní mapa BPEJ	VÚMOP	Janeček et al. (2007)	HPJ 22–0,24, HPJ 24–0,38, HPJ 27–0,34, HPJ 35–0,36, HPJ 37–0,16, HPJ 40–0,24, HPJ 41–0,33, HPJ 47–0,43, HPJ 48–0,41, HPJ 49–0,35, HPJ 58–0,42, HPJ 59–0,35
LS	DEM, vodní toky, hranice pozemků, cesty	ČUZK, LPIS	McCool (1987,1989)	0–51
C	Využití pozemků a pěstované plodiny	Terénní šetření, LPIS	Janeček et al. (2007)	Pšenice oz.–0,12, Ječmen oz.–0,17, Řepka oz.–0,11, Oves–0,08, Kukuřice–0,25, Víceletá tráva, louka–0,005
P	-	-	Janeček et al. (2007)	1

<sup>a</sup>dle Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí oz. - ozim

**Tab. 2 Vstupní data k modelu USLE 2D**

### 3.3.2 USLE

Tato metoda vychází z rovnice USLE a byla vyvinuta Geographic modelling systems laboratory (Univerzita Illinois, Urbana – Champaign). LS faktor je zde modifikována pro členitý terén. Pro začlenění vlivu soustředěného povrchového odtoku byla délka odtokové dráhy (L faktor) nahrazena tzv. přispívající plochou A nad počítanou buňkou rastru zahrnující odtok vtékající do dané buňky (Mitášová et al. 1996). Tímto lze vyjádřit vliv koncentrovaného odtoku na proces vodní eroze. Modifikovanou rovnicí pro výpočet LS faktoru v GIS v konečné podobě rastrové buňky reprezentující segment svahu vytvořili Desmet, Govers (1996a). Jednodušší, navazující podobu rovnice pro výpočet LS faktoru vytvořila Mitášová et al. (1996):

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

kde:

A[m] – tzv. přispívající plocha,

b – sklon (°),

m – 0,6, n – 1,3,

a<sub>0</sub> – 22,1 m,

b<sub>0</sub> – 0,09.

Dle autorů takto vypočítaný LS faktor bere lépe v úvahu vliv soustředěného odtoku na vzrůstající erozi.

V práci při popisu této metody a jejích výsledků je používáno označení USLE, i když toto označení je všeobecně užíváno pro výše zmíněnou Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí.

Postup zpracování:

Tuto metodu lze celou zpracovat v prostředí GIS (Mitášová 1999) pomocí vstupních dat dle Tab. 3. Prvním z kroků je za použití hydrologických nástrojů vytvoření vrstvy směru odtoku (Flow direction) z vyhlazeného DEM, která udává kvalitativní (směr) a kvantitativní (množství) charakteristiky odtoku. Dále byla zpracována k vytvoření rastru akumulace odtoku (Flow Accumulation), jenž je založena na postupném načítání akumulace odtoku z obklopujících buněk do buňky počítané (sama se nezahrnuje). Vysoké hodnoty akumulace v buňkách představují plochy koncentrace odtoku. Dále byla vytvořena vrstva sklonitosti svahu (Slope ve stupních) z DEM. Z těchto dvou vrstev se vytváří LS faktor pomocí Raster calculator podle vztahu:

$$\text{Power}((\text{Flow accumulation}) * \text{resolution}/22.1, 0.6) * \text{Power}(\text{Sin}((\text{Slope}) * 0.01745)/0.091.3)$$

kde:

resolution – velikost rastrového elementu.

Z takto připravených hodnot LS faktoru a zbylých dat byla vytvořena pomocí Raster calculator výsledná erozní ohroženost zájmového území.

Faktor <sup>a</sup>	Vstupní digitální data	Zdroj	Metoda odvození	Hodnota
R	Ombrografická měření	ČHMÚ	Janeček et al. (2007)	20 MJ/ha/cm/h
K	Půdní mapa BPEJ	VÚMOP	Janeček et al. (2007)	HPJ 22–0,24, HPJ 24–0,38, HPJ 27–0,34, HPJ 35–0,36, HPJ 37–0,16, HPJ 40–0,24, HPJ 41–0,33, HPJ 47–0,43, HPJ 48–0,41, HPJ 49–0,35, HPJ 58–0,42, HPJ 59–0,35
LS	DEM	ČUZK, LPIS	Mitášová, Mitáš (1998)	0–93,8
C	Využití pozemků a pěstované plodiny	Terénní šetření, LPIS	Janeček et al. (2007)	Pšenice oz.–0,12, Ječmen oz.–0,17, Řepka oz.–0,11, Oves–0,08, Kukuřice–0,25, Víceletá tráva, louka–0,005
P	-	-	Janeček et al. (2007)	1

<sup>a</sup>dle Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí oz. - ozím

**Tab. 3 Vstupní data k metodě USLE**

### 3.3.3 WATEM/SEDEM

Model rozšiřující USLE 2D vyvíjen na témž pracovišti. Predikuje prostorovou distribuci eroze půdy a následnou sedimentaci. Vznikl spojením dvou modelů: WATEM (Water and tillage erosion model; Van Oost et al. 2000) a SEDEM (Sediment delivery Model; Van Rompaey et al. 2001). Tento model je používán pro simulaci vlivu protierozní ochrany, vlivu změny land-use v povodí a lokální ztráty půdy a následného splachu do vodních toků (Van Oost et al. 2000; Van Rompaey et al. 2001; Verstraeten et al. 2002; Van Rompaey et al. 2003; Vysloužilová, Kliment 2012).

Postup zpracování:

Model byl použit s důrazem na výpočet vodní eroze verzí WATEM/SEDEM 2004.

Obsahuje tři hlavní komponenty:

(1) hodnocení průměrné hodnoty eroze půdy pro jednotlivou buňku rastru. Hodnocení erozního smyvu obsahuje adaptovanou verzi Revised universal soil loss equation (RUSLE; Renard et al. 1997 ex Van Rompaey et al. 2001).

(2) hodnocení průměrné roční transportní kapacity ( $T_c$ ) v kg/m/rok na buňku rastru. Kdy  $T_c$  představuje maximum hmoty půdy, která může vystoupit z buňky rastru na jednotku délky po svahu terénu. V konečné podobě je vyjádřena Van Rompaey et al. (2001) vztahem:

$$T_c = K_{Tc} * R * K * (L * S - aS_{IR})$$

kde:

$K_{Tc}$  – koeficient transportní kapacity,

R, K, L, S – dle USLE,

a – 0,6,

$aS_{IR}$  – faktor sklonu svahu pro plošnou erozi.

(3) sedimentační algoritmus redistribující sediment přes povodí v závislosti na topologii a transportní kapacitě. Tento algoritmus je použit k modelování přemístění sedimentu ze zdroje sedimentu do říční sítě (Van Rompaey et al. 2001).

Program pracuje s rastry GIS ve formátu Idrisi (převedení rastrů do tohoto formátu bylo provedeno za pomoci programu Idrisi 32 (Clark Labs). Funkce programu je kalibrována pro rozlišení 20×20 m. Použitím rozlišení jiného může nastat problém při výpočtu LS faktoru. Mezi vstupní data modelu (Notebaert et al. 2006) patří:

*DEM* studované oblasti. Následné výsledky jsou na kvalitě DEM silně závislé. Z DEM jsou odstraněny bezodtokové zóny.

*Parcel Map* je v důsledku reklasifikovaná mapa land-use. Je jí vytvořen rozdíl mezi ornou půdou, pastvinami, lesem, vodními toky. Každá tato kategorie je označena vlastním identifikátorem. -1: řeky, 0: území mimo studovanou oblast, 1–n: orná půda (n = 2–9999), 10000: les, 20000: pastviny. Tato reklasifikace vytvoří hranice, které mají vliv na zachycení, řízení smyvu a sedimentaci.

*River Routing*, vrstva díky které software rozdělí výsledný sediment vázaný vodními toky podle rozdílných říčních segmentů. Pokud vrstva není vložena, sediment je přiřazen společně ke všem říčním segmentům. Ve studii vrstva není zahrnuta.

*Crop factor* zahrnuje vliv vegetačního pokryvu jako C faktor. Uživatel má zde dva způsoby: vložení samostatné mapy C faktoru, nebo vložení hodnot skrz formulář zobecněného do kategorií: orná půda, les, pastvina.

*Soil Erodibility Factor* znázorňuje vliv erodibility půdy (K faktor). Zde lze také použít mapu, nebo zadat hodnotu pro celou oblast. Hodnoty se zadávají ve 100 násobku hodnot dle Janečka (2007).

Vzhledem k možnému pozměnění dat během převodu do formátu Idrisi a samotnému průběhu výpočtu je praktické vytvořit společnou vrstvu vynásobením C a K faktorů a následné vynásobením 1000. Tuto operaci je samozřejmě nezbytné zohlednit ve výsledcích (podělením výsledku 1000).

*Ptef: Parcel* reprezentuje snížení transportu sedimentu během přechodu mezi různými land-use. Vstupní data mohou být vložena jako mapa (dle terénních měření), nebo přes formulář. Standardní hodnoty jsou 0 pro ornou půdu a 75 pro les a pastviny.

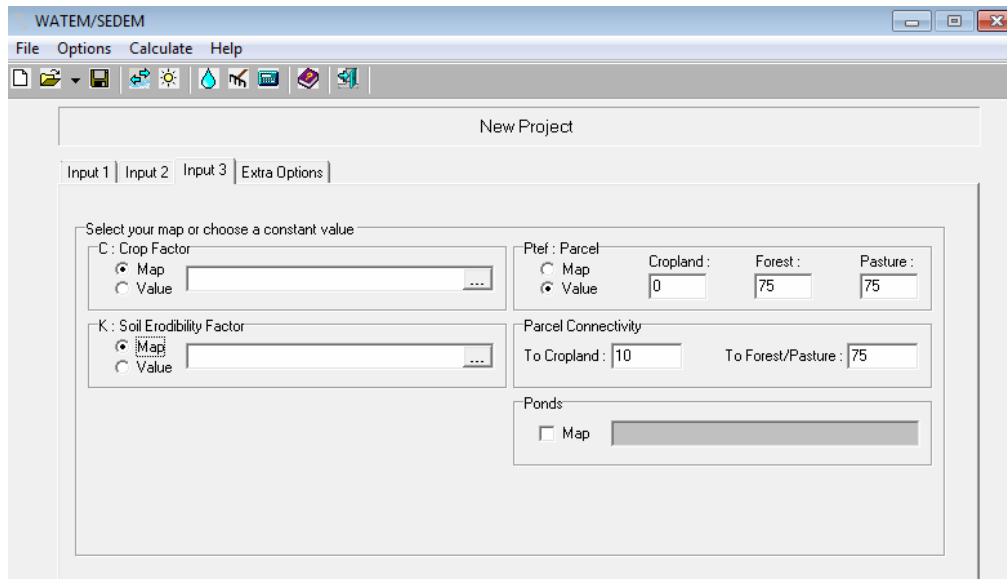
*Parcel connectivity* udává hodnotu propustnosti ve vztahu orná půda a les, pastviny. To reprezentuje zadržení toku na hranicích mezi parcelami. Doporučené hodnoty pro Česko jsou dle Krásky. (2010) pro přechod na ornou půdu = 40 a pro přechod na les/pastvina = 75.

Pro výpočet *LS* faktoru a charakteristiky délky svahu byl zvolen McCool et al. (1987,1989 in Van Rompaey et al. 2001). Kdy při výpočtu charakteristiky délky svahu má transportní koeficient *m* stejnou hodnotu pro erozi plošnou i rýhovou. Stejně postupovali Van Oost et al. (2000), Van Rompaey et al. (2001).

Při vyplňování formuláře *Water* se zadává erozní účinnost deště *R*. Tato hodnota byla zadána pro celou oblast shodně. *R* faktor je udáván v MJ/mm/m<sup>2</sup>/h (t.j. 1/1000 jednotek v Česku).

*Transport Capacity Coef kTc* (koeficient transportní kapacity *kTc*). Zde se zadávají *kTc low* udávající hodnotu pro neerodovanou plochu a *kTc high* pro plochy erodované. Podle Van Rompaey et al. (2001) ex Vysloužilová, Kliment (2012) bylo odvozeno *kTc low* = 100 a *kTc high* = 200. *kTc limit* odpovídá hodnotě C faktoru, která odlišuje erodované a neerodované plochy.





Obr. 5 Prostředí WATEM/SEDEM

Faktor <sup>a</sup>	Vstupní digitální data	Zdroj	Metoda odvození	Hodnota
R	Ombrografická měření	ČHMÚ	Janeček et al. (2007)	20 MJ/ha/cm/h
K	Půdní mapa BPEJ	VÚMOP	Janeček et al. (2007)	HPJ 22–0,24, HPJ 24–0,38, HPJ 27–0,34, HPJ 35–0,36, HPJ 37–0,16, HPJ 40–0,24, HPJ 41–0,33, HPJ 47–0,43, HPJ 48–0,41, HPJ 49–0,35, HPJ 58–0,42, HPJ 59–0,35
LS	DEM, vodní toky, hranice pozemků, cesty	ČUZK, LPIS	McCool (1987,1989)	0 – 88,92
C	Využití pozemků a pěstované plodiny	Terénní šetření, LPIS	Janeček et al. (2007)	Pšenice oz.–0,12, Ječmen oz.–0,17, Řepka oz.–0,11, Oves–0,08, Kukuřice–0,25, Víceletá tráva, louka–0,005
P	-	-	Janeček et al. (2007)	1

<sup>a</sup>dle Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí oz. - ozim

Tab. 4 Vstupní data k modelu WATEM/SEDEM

### 3.3.4 USPED

Model USPED (Unit stream power - based erosion/deposition model), vyvinut na stejném pracovišti jako USLE, je prezentován a užíván jako jednoduchý model predikující erozi, transport sedimentů a depozici v závislosti na vlastnostech terénních, půdních a půdního pokryvu (Mitášová et al. 1996; Mitáš, Mitášová 1998). V našich podmínkách byl použit Bobálem et al. (2011), Vysloužilovou, Klimentem (2012).

Žádná experimentální studie ještě nepřinesla parametry pro USPED, proto je v modelu použito parametrů USLE popř. RUSLE pro zahrnutí vlivu půd a půdního pokryvu, ovlivňující sedimentační transportní kapacitu T. Ta je autory vyjádřena vztahem:

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

kde:

R, K, C, P – dle USLE,

$A^m * (\sin b)^n$  – topografický faktor,

m – 1,6; n – 1,3 konstanty pro převažující rýhovou erozi.

Čímž autoři odvodili relativní předpověď eroze a depozice ED dle vztahu:

$$ED = \text{div}(T*s) = d(T*\cos a)/dx + d(T*\sin a) / dy$$

kde:

a – orientace povrchu vůči světovým stranám.

LS faktor je založen na síle soustředěného odtoku

Postup zpracování:

Tento přístup je podobný metodě USLE a také lze celý zpracovat v prostředí ArcGIS (Mitášová et. al. 1996; Mitáš, Mitášová 1998). Pro výpočet bylo třeba vytvořit rastry sklonitosti území (slope ve stupních) a orientace vůči světovým stranám (aspect) z DEM. Následně byla vytvořena vrstva směru odtoku (Flow direction) a z ní vrstva soustředěného odtoku (Flow accumulation). Ze vztahu

$$(\text{Power}(\text{Flow accumulation} * \text{resolution}, 1.6)) * (\text{Power}(\text{Sin}(\text{slope} * 0.01745), 1.3))$$

kde:

resolution – velikost buňky rastru,

byla vytvořena vrstva LS faktoru. Dále byly vytvořeny vrstvy transportní kapacity podle vztahů:

$$(LS) * (K) * (C) * 56 * \cos((((\text{aspect}) * (-1)) + 450) * 0.01745) \text{ pro } Tc1 \text{ a}$$

$$(LS) * (K) * (C) * 56 * \sin((((\text{aspect}) * (-1)) + 450) * 0.01745) \text{ pro } Tc2.$$

Z těchto vzniklých vrstev byly vytvořeny vrstvy sklonitosti (slope1, slope2) a orientace vůči světovým stranám (aspect1, aspect2).

Na základu těchto dat byla provedena derivace podle

$\cos(((\text{aspect1}) * (-1)) + 450) * 0.01745) * \tan((\text{slope1}) * 0.01745)$  pro derivaci1,  
 $\sin(((\text{aspect2}) * (-1)) + 450) * 0.01745) * \tan((\text{slope2}) * 0.01745)$  pro derivaci2.

Součtem vrstev po derivaci byly obdrženy výsledky pro převládající rýhovou erozi, kdy kladné hodnoty znamenají depozici erodované půdy a záporné hodnoty erozi půdy.

Faktor <sup>a</sup>	Vstupní digitální data	Zdroj	Metoda odvození	Hodnota
R	Ombrografická měření	ČHMÚ	Janeček et al. (2007)	20 MJ/ha/cm/h
K	Půdní mapa BPEJ	VÚMOP	Janeček et al. (2007)	HPJ 22–0,24, HPJ 24–0,38, HPJ 27–0,34, HPJ 35–0,36, HPJ 37–0,16, HPJ 40–0,24, HPJ 41–0,33, HPJ 47–0,43, HPJ 48–0,41, HPJ 49–0,35, HPJ 58–0,42, HPJ 59–0,35
LS	DEM	ČUZK, LPIS	Mitášová, Mitáš (1998)	0–7,4
C	Využití pozemků a pěstované plodiny	Terénní šetření, LPIS	Janeček et al. (2007)	Pšenice oz.–0,12, Ječmen oz.–0,17, Řepka oz.–0,11, Oves–0,08, Kukuřice–0,25, Víceletá tráva, louka–0,005
P	-	-	Janeček et al. (2007)	1

<sup>a</sup>dle Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí oz. - ozím

**Tab. 5 Vstupní data k modelu USPED**

### 3.4 Návrh protierozních opatření

K protierozním opatřením (PEO) bylo přistupováno dle hodnot přípustné ztráty půdy. Kdy pro trvalé a ekonomicky dostupné udržení úrodnosti půdy Janeček et al. (2002) navrhuje posouzení míry erozní ohroženosti pozemků. To společně s dalšími kritérii slouží jako princip přípustné ztráty půdy, který je definován jako maximální hodnota ztráty půdy. Zde se při stanovení limitů ztrát uvažuje s mocností půdního profilu, využitím půd do budoucna a předpokládanou ztrátou půdy. Hloubku půdy lze orientačně zjistit podle BPEJ, což bylo použito v této práci. V tomto systému je

vyjádřena 5. číslici sdruženého kódu BPEJ pro skeletovitost a hloubku půdy (Janeček et al. 2007).

Dosazením hodnot do universální rovnice získáme dlouhodobou průměrnou ztrátu půdy vodní erozí v t/ha/rok. Dle Janečka et al. (2002) jsou přípustné ztráty půdy stanoveny podle hloubky půdního profilu půd, kdy u mělkých půd (do 30 cm) by neměla ztráta přesahovat 1 t/ha/rok, u středně hlubokých (30–60 cm) 4 t/ha/rok a u hlubokých (nad 60 cm) 10 t/ha/rok. Nesplní-li aktuální stav na hodnoceném území toto kritérium, je zapotřebí uplatnit protierozní opatření, jenž se promítnou do rovnice jako změna příslušného faktoru. Následný přepoččet ověří, zda jsou ochranná opatření dostatečná.

Jeden z podkladů pro návrh PEO byl materiál MZe Příručka ochrany proti vodní erozi (2011) vydaná Ministerstvem zemědělství jako informační materiál o protierozní ochraně a také implementaci a dodržování standardů GAEC. Navrhovaná opatření, liniová a plošná, určená v rámci těchto standardů, byla jedním s vodítek pro návrh PEO.

Opatření GAEC rozlišují 3 typy ohroženosti půd: bez erozního ohrožení, mírně erozně ohrožené (MEO) a silně erozně ohrožené (SEO). Od toho se také odvíjejí požadovaná plošná protierozní opatření (PPEO). Kdy pěstování plodin na půdách bez erozního ohrožení je bez opatření. Na plochách půdního bloku (PB), resp. dílu půdního bloku (DPB), které jsou v LPIS označeny jako MEO, vyplývá pro zemědělce a farmáře povinnost zajistit, že širokořádkové plodiny: kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója a slunečnice budou zakládány pouze s využitím půdoochranných technologií: bezorebné setí/sázení, setí/sázení do mulče, setí/sázení do mělké podmítky, setí/sázení do ochranné plodiny, podsev a důlkování, nebo s využitím specifických (liniových) půdoochranných technologií (viz níže) na MEO plochách. Na plochách PB/DPB, které jsou v LPIS označeny jako SEO vyplývá pro zemědělce a farmáře povinnost zajistit, že se na nich nebudou pěstovat širokořádkové plodiny: kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója a slunečnice. Porosty obilnin a řepky olejné na takto označené ploše budou zakládány s využitím půdoochranných technologií (viz výše). V případě pěstování obilnin nemusí být dodržena podmínka aplikace půdoochranných technologií při zakládání porostů pouze v případě, že budou pěstovány s podsevem jetelovin. Ačkoliv podle těchto doporučení lze na těchto plochách hospodařit, bylo na nich navrženo zatravnění. A to doplňující travní porosty stávající z důvodu vysoké sklonitosti a vysokých hodnot erozního smyvu. Založení travních porostů bylo z těchto důvodů navrženo také i na odpovídajících plochách MEO.

Specifické (liniové) protierozní opatření (LPEO) jsou navrhovány jen u ploch hodnocených jako MEO. Pro zakládání porostů širokořádkových plodin na těchto plochách vedených v LPIS na orné půdě byly definovány specifické půdoochranné technologie:

- přerušovací pásy,
- zasakovací pásy,
- osetí souvratí,
- setí/sázení po vrstevnici,
- odkameňování.

Tento výčet půdoochranných technologií je otevřený, což znamená, že z něj mohou být některá opatření odstraněna nebo další doplněna. Aplikace těchto opatření v rámci GAEC je navrhována podle velikosti a průměrné sklonitosti dotčených PB. Déle umístění a četnost specifických (liniových) půdoochranných opatření je podmíněna vlastnostmi odtokových linií na MEO plochách. Odtokové linie zobrazují modelové dráhy povrchového odtoku srážkové vody v případech, kdy intenzita srážek bude taková, že srážková voda bude z PB/DPB odtékat po povrchu půdy. Toto slouží především jako zdroj doplňujících informací o tom, jak dlouhé dráhy odtoku se nacházejí na PB/DPB na erozně ohrožených plochách.

V rámci GAEC je nutné, aby bylo na MEO ploše realizováno alespoň jedno půdoochranné opatření (liniové nebo plošné) doporučené pro MEO a SEO plochy (Mze 2011).

PPEO GAEC aplikovaná ve studovaném území byla doplněna liniovými prvky dle Janečka et al. (2007) a specifickými liniovými opatřeními GAEC. Jedná se o stabilizaci drah soustředěného odtoku, protierozní meze, zasakovací pásy. Navrhnuty byly i polní cesty.

Stabilizace drah soustředěného odtoku byly umístěny dle vlastností terénu a výsledků erozních modelů do údolnic, kde dochází ke koncentraci povrchového odtoku. Tato místa byla zřejmá ve výsledcích erozních modelů zvýšenou mírou erozního smyvu. Cílem opatření je bezpečně a bez projevů eroze odvést povrchový odtok, který je zde soustředěn vlivem morfologie terénu. Také dojde k zpomalení odtoku vody z pozemku a k zvýšení infiltrace. Nejvhodnější ochranou těchto erozně náchylných míst je vegetační kryt (nejlépe zatravnění) (Ekotoxa 2010). Šířka 20 m je určena dle Šarapatky et al. (2011).

Protierozní meze jsou navrženy podél vrstevnic na okrajích vybraných MEO ploch podle LPIS. Dále podél ploch vybraných dle výsledků erozních modelů. Zde meze protínají většinu odtokových linií zasahujících do MEO ploch. Tak působí jako trvalá překážka povrchového odtoku. Složení meze je ze dvou částí: zasakovacího travnatého pásu nad mezí a tělesa meze o celkové šíři 6 m. Mez lze doplnit o svodný prvek (průleh), čímž se zvětší šířka tělesa. Kromě významu půdoochranného mají meze i význam estetický a ekologický (Ekotoxa 2010).

Zasakovací pásy byly realizovány jako specifické protierozní opatření podle MZe (2011) (viz výše). Jejich umístěním má dojít k přerušení povrchového toku a zachycení povrchově tekoucí vody nebo jejímu neškodnému odvádění. Tím dojde k snížení ohrožení dotčených ploch. Šířka 30 m je určena dle Šarapatky et al. (2011).

Návrh umístění polních cest je zahrnut v územním plánu obce Kunovice (Sawicki et al. 2011). Z toho důvodu jsou zahrnuty mezi liniové prvky PEO, kdy jejich realizace bude mít pozitivní vliv na erozní procesy území a krajinný ráz. Jejich návrh je na základě původních historických cest. Návrhová šířka vedlejší polní cesty je 4,5 m (Wikipedia 2012).

Faktor <sup>a</sup>	Vstupní digitální data	Zdroj	Metoda odvození	Hodnota
R	Ombrografická měření	ČHMÚ	Janeček et al. (2007)	20 MJ/ha/cm/h
K	Půdní mapa BPEJ	VÚMOP	Janeček et al. (2007)	HPJ 22–0,24, HPJ 24–0,38, HPJ 27–0,34, HPJ 35–0,36, HPJ 37–0,16, HPJ 40–0,24, HPJ 41–0,33, HPJ 47–0,43, HPJ 48–0,41, HPJ 49–0,35, HPJ 58–0,42, HPJ 59–0,35
LS	DEM, vodní toky, hranice pozemků, cesty	ČUZK, LPIS	McCool (1987,1989)	0 –47
C	Využití pozemků a pěstované plodiny	Terénní šetření, LPIS	Janeček et al. (2007)	Kukuřice do strniště–0,25 Víceletá tráva, louka–0,005
P	-	-	Janeček et al. (2007)	1

<sup>a</sup>dle Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí

**Tab. 6 Vstupní data PEO k modelu USLE 2D**

Faktor <sup>a</sup>	Vstupní digitální data	Zdroj	Metoda odvození	Hodnota
R	Ombrografická měření	ČHMÚ	Janeček et al. (2007)	20 MJ/ha/cm/h
K	Půdní mapa BPEJ	VÚMOP	Janeček et al. (2007)	HPJ 22–0,24, HPJ 24–0,38, HPJ 27–0,34, HPJ 35–0,36, HPJ 37–0,16, HPJ 40–0,24, HPJ 41–0,33, HPJ 47–0,43, HPJ 48–0,41, HPJ 49–0,35, HPJ 58–0,42, HPJ 59–0,35
LS	DEM, vodní toky, hranice pozemků, cesty	ČUZK, LPIS	McCool (1987,1989)	0 – 38,52
C	Využití pozemků a pěstované plodiny	Terénní šetření, LPIS	Janeček et al. (2007)	Kukuřice do strniště–0,25 Víceletá tráva, louka–0,005
P	-	-	Janeček et al. (2007)	1

<sup>a</sup>dle Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí

**Tab. 7 Vstupní data PEO k modelu WaTEM/SEDEM**

## 4. Výsledky

### 4.1 USPED

Výsledky USPED jsou znázorněny na mapách 1, 2 a grafech 1, 2. Stav území vytvořený pro ochranný osevní postup se vyznačuje 13 % erozně ohrožených ploch s hodnotami přesahující přípustnou mez. Nejvíce ohrožené jsou plochy intenzivně využívané, typické pro severní část území. Zde se nachází údolnice se strmými svahy na jejichž horní části jsou vázána místa eroze a naopak spodní části jsou typické depozicí. Model vyhodnotil podél údolnic místa s největší mírou eroze a zároveň i depozice a v některých částech jsou tyto procesy znázorněny jako střídavé. Místa depozice tvoří celkem 21 % území. Jižní část území využívaná jako plošné travní porosty se jeví erozně stabilní. Právě travní porosty jsou erozně nejméně náchylné a okraje pozemků se stávají místem depozice sedimentu. Plochy splňující přípustnou mez vytváří 66 % území. Průměrná ztráta půdy z území je 2,88 t/ha/rok ( $\pm 254,95$ ).

Při vyhodnocení vlivu ochranného pěstování kukuřice jsou patrné změny související se snížením ochranného vlivu vegetace v území. Údolnice jsou stále označovány jako místa současných maximálních hodnot eroze i depozice. Přibýlo ohrožených ploch na svazích. Ohrožené plochy se tak rozšířily na 16,7 % území. Depozice sedimentů vytváří 21 % území. V některých částech se tyto procesy vyskytují opět se střídavou tendencí, což vysvětlují Vysloužilová, Kliment (2012) změnami transportní kapacity. Autoři také ve své práci zmiňují možný rovnoběžný výskyt eroze a depozice vysvětlený nedokonalostí zpracování v GIS. Na zatravněných plochách pozorujeme stabilně neohrožené plochy a výskyt depozice při přechodech na ornou půdu (rozdílné hodnoty C faktoru). Celkově 62,3 % zaujímají plochy vyhodnocené jako splňující přípustnou mez erozního smyvu. Průměrná ztráta půdy z území je v tomto případě 4,30 t/ha/rok ( $\pm 311,3$ ).

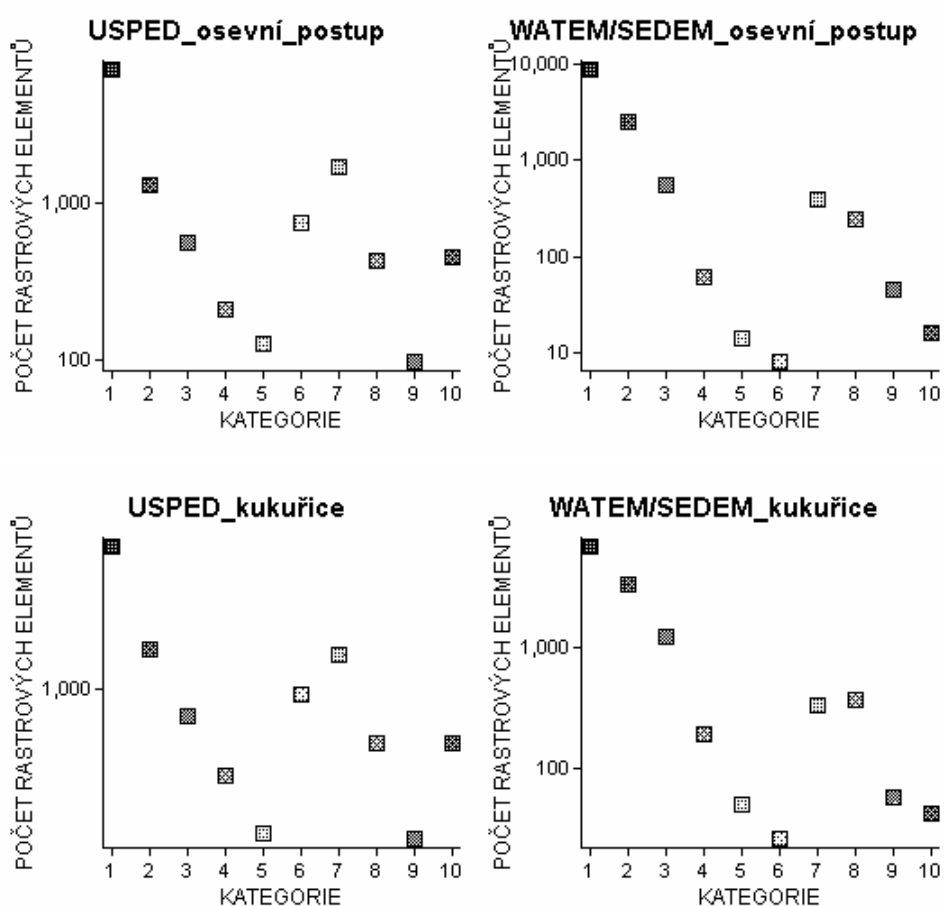
### 4.2 WATEM/SEDEM

Výsledky WATEM/SEDEM jsou znázorněny na mapách 3, 4 a grafech 3, 4. Erozně ohrožené plochy přesahující přípustnou mez (celkem 5 % území) při ochranném osevním postupu jsou vázány na intenzivně obhospodařované plochy v částech se stoupajícím sklonem. Právě sklony s nepřerušovanou délkou svahu značně ovlivňují výsledky na těchto plochách v podobě LS faktoru. V údolnicích těchto svahů se nalézají



plochy s největšími hodnotami depozice, celkově zabírá depozice sedimentů 5,5 % území. Akumulační plochy se také nacházejí v úpatí erozně ohrožených svahů a terénních depresích. Jižně položené plochy travních porostů jsou vyhodnoceny jako erozně neohrožené. Celková část neohroženého území je 89,5 %. Vyhodnocená průměrná ztráta půdy z území je 1,57 t/ha/rok ( $\pm 9,21$ ).

Se začleněním ochranného pěstování kukuřice je opět patrný vliv snížení ochranného faktoru vegetace. Dochází tedy k rozšíření erozně ohrožených ploch na 11,8 % území. Jedná se hlavně o plochy svahů. Plochy depozice se rozšířily na 6,4 % území. Plochy s hodnotami nepřesahujícími přípustnou mez vytváří 81,8 %. Průměrný smyv půdy z území je 2,3 t/ha/rok ( $\pm 13,75$ ).



Graf 1–4 Grafické znázornění výsledků WATEM/SEDEM a USPED

KATEGORIE	USPED_osevní_postup	USPED_kukuřice	W/S_osevní_postup	W/S_kukuřice
1	7116	6260	8844	7053
2	1291	1656	2533	3361
3	561	699	566	1233
4	208	332	60	195
5	127	156	14	50
6	751	935	8	26
7	1701	1542	391	335
8	427	502	248	372
9	92	146	45	58
10	446	497	16	42

**Tab. 8 Počty rastrových elementů výsledků USPED, WATEM/SEDEM v kategoriích erozního ohrožení**

### 4.3 USLE

Výsledky USLE jsou znázorněny na mapách 5, 6 a grafech 5, 6. Při scénáři ochranného osevního postupu jsou patrné maximální hodnoty znázorněny v drahách soustředěného odtoku. Důvodem je reakce na vysoké hodnoty LS faktoru. Jako u výsledků předchozích modelů jsou patrné plochy s hodnotami přesahující přípustnou mez ztráty půdy na svazích. Plochy ohrožené erozí vytváří 3 % území. Erozně stabilní se jeví plochy využívány jako travní porosty. Celkové zastoupení neohrožených ploch je 97 % území. Průměrná ztráta půdy z území je v tomto případě 2,21 t/ha/rok ( $\pm 3,90$ ).

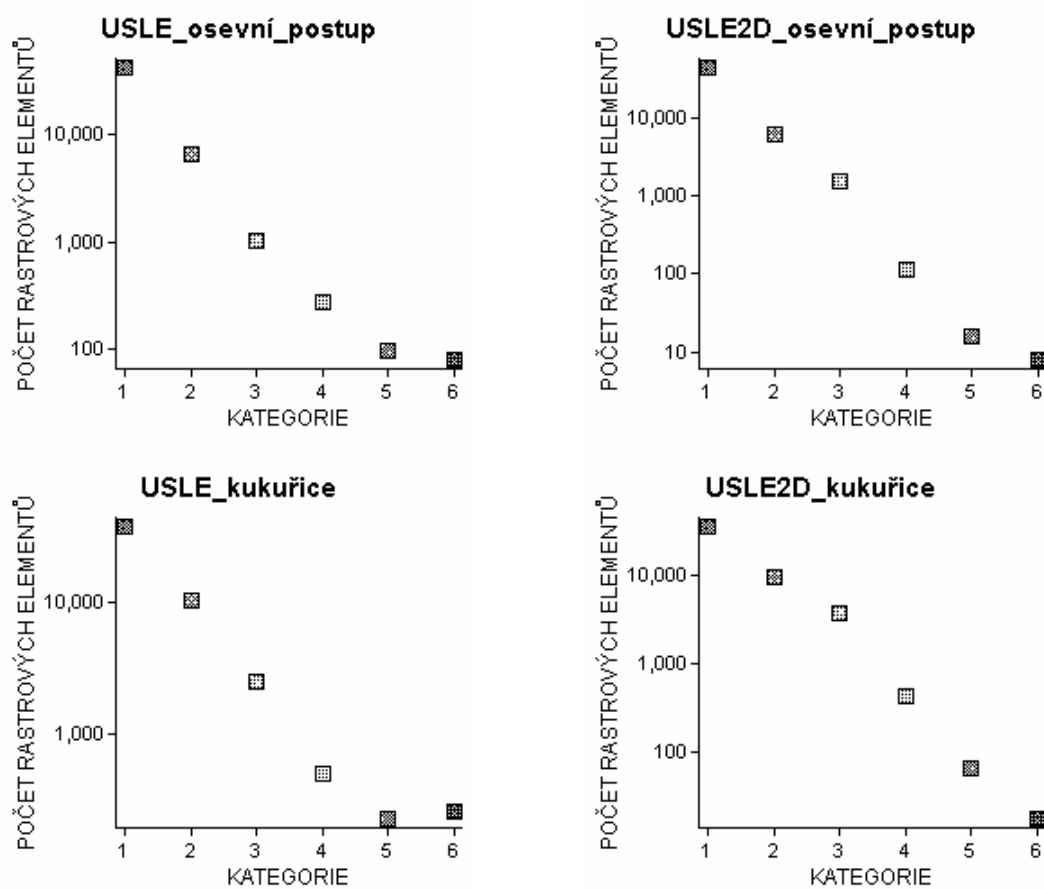
Při vlivu ochranného pěstování kukuřice model reaguje plošným zvýšením erozního ohrožení na plochách svahů v důsledku začlenění vyšší hodnoty ochranného vlivu vegetace. Celkově se tak plochy přesahující mez erozního ohrožení rozšířily na 6 % území. Nejvyšší hodnoty jsou v drahách soustředěného odtoku určených LS faktorem. Model také pozitivně reaguje na zatravnění stabilizací erozních procesů. Celkově je 93,3 % území erozně neohroženo. Průměrná hodnota erozního smyvu v území činí 3,4 t/ha/rok ( $\pm 6,26$ ).

### 4.4 USLE 2D

Výsledky USLE 2D jsou znázorněny na mapách 7, 8 a grafech 7, 8. Z výsledků jsou patrné lokalizace nejohroženějších ploch v částech se zvýšenou sklonitostí svahů a navazujících údolnicích. Celkově je ohroženo 3,3 % území. Plochy využívané jako travní porosty se jeví erozně stabilní. Z výsledků je patrný i vliv přerušení povrchového toku zahrnutými cestami a hranicemi pozemků na snížení hodnot erozního ohrožení.

Neohrožené plochy tak tvoří 96,7 % území. Průměrná hodnota erozního smyvu v území je 2,2 t/ha/rok ( $\pm 3,25$ ).

Vliv ochranného pěstování kukuřice v území přináší zvýšení erozního ohrožení na plochách svahů. Celkově došlo rozšíření ohrožených ploch území na 8,5 %. Místa největšího erozního ohrožení jsou totožná s předchozími výsledky. Plochy neohrožené erozí tvoří 91,5 % území. Průměrná hodnota erozního smyvu v území je 3,2 t/ha/rok ( $\pm 4,77$ ).



Graf 5–8 Grafické znázornění výsledků USLE a USLE 2D

$\frac{5}{7}$   
 $\frac{6}{8}$

KATEGORIE	USLE_osevní_postup	USLE_kukuřice	USLE2D_osevní_postup	USLE2D_kukuřice
1	42982	37402	43195	36811
2	6523	10175	6118	9802
3	1020	2431	1517	3851
4	272	484	116	424
5	95	223	16	65
6	78	255	8	17

Tab. 9 Počty rastrových elementů výsledků USLE, USLE2D v kategoriích erozního ohrožení

## 4.5 Návrh protierozních opatření

Návrh protierozních opatření a jejich zhodnocení vyjadřují mapy 9–11. Z předchozích výsledků (mapy a vyhodnocené ohrožené plochy) je patrná potřeba doplnění protierozního přístupu GAEC. Na základě předchozích výsledků byl návrh doplňujících protierozních opatření vypracován pomocí USLE 2D a WATEM/SEDEM. Modely byly také vybrány s ohledem na možnost zahrnutí vlivu liniových prvků na povrchový odtok. S využitím těchto modelů bylo navrženo 24,64 ha zatravnění a 16,6 ha LPEO. Blíže jsou to:

- obnovené historické polní cesty – 1,23 ha,
- stabilizované dráhy soustředěného odtoku – 3,15 ha,
- protierozní meze – 0,97 ha,
- zasakovací pásy – 11,25 ha.

Níže jsou popsány vlivy LPEO a zatravnění na ohrožené plochy zájmového území.

	Orná půda s PPEO	Zatravnění	LPEO
Stav před PEO (ha)	423,64	86,17	-
Stav po PEO (ha)	382,4	110,81	16,6

PPEO - plošné protierozní opatření LPEO - liniové protierozní opatření

**Tab. 10 Využití území před a po návrhu protierozních opatření**

### USLE 2D

Rozšíření ochranného pěstování kukuřice o LPEO a zatravnění přináší snížení erozního smyvu na plochách nejvíce erozně ohrožených. Neohrožené plochy se tak rozšířily na 97,4 % území. Je patrný vliv liniových opatření na plochy níže položené, kdy jejich umístěním dochází k snížení nepřerušené délky svahu (snížení hodnot LS faktoru) a přerušování povrchového toku. Avšak i po těchto opatřeních přesahuje na 2,6 % území erozní smyv přípustnou mez. Při průměrné hodnotě erozního smyvu 2 t/ha/rok zvyšuje začlenění LPEO účinnost o 37,5 %.

### WATEM/SEDEM

Doplněním ochranného pěstování kukuřice o prvky LPEO dochází ke snížení hodnot LS faktoru a k přerušování transportní kapacity povrchového toku. Tím dochází k snížení erozního ohrožení na plochách níže položených. Dále zatravnění nejohroženějších ploch stabilizuje erozní procesy. Celkově tak činí podíl erozně neohrožených ploch v území 88 %. V důsledku toho dochází k redukci hodnot depozice

tedy i redukcí její prostorové distribuce. Je zaznamenána i na místech výše položených nad LPEO a u hranic zatravněných ploch. Plošné zastoupení depozice pokleslo na 6 % území. Po doplnění ochranného pěstování kukuřice LPEO je průměrná ztráta půdy z území nižší o 37 % a je tedy 1,45 t/ha/rok. Je patrný rozdíl ve snížení ploch s erozní ohrožeností přesahující přípustnou mez. Plochy erozně ohrožené tvoří 6 % území.

## 5. Diskuze a závěr

Zrychlená eroze půdy je celosvětovým problémem a jako takový se dotýká i naší krajiny. Ta, jako součást Evropské unie, je chráněna proti tomuto poškození standardy GAEC a jeho protierozními přístupy. Obecně je základem návrhu protierozních opatření kvantitativní zhodnocení erozního ohrožení. S rozvojem výpočetní techniky nastalo i rozšíření možností tohoto hodnocení formou mnoha erozních modelů, z nichž si uživatel vybírá. Při použití vybraných modelů na hodnocení reálných scénářů v zájmovém území, byly zjištěny vlivy přístupů na absolutní hodnoty eroze i depozice. Při hodnocení scénáře ochranného pěstování kukuřice dle standardů GAEC, byla zjištěna potřeba doplnění těchto opatření a to u všech modelů. Rozšířením tohoto opatření GAEC o LPEO a zatravnění se zvýšila účinnost o 37–37,5 %.

Zhodnocení scénáře ochranného osevního postupu erozními modely USLE, USLE 2D přináší vcelku podobné výsledky (Tab. 9) Rozdíl je ve vyhodnocených max. hodnotách, které jsou shodně lokalizovány v drahách soustředěného odtoku. Na mapách 5, 7 je patrné, že USLE vyhodnotilo více ohrožených ploch v drahách soustředěného odtoku a celkově z mapových výsledků je znát vliv soustředěného odtoku na výsledky oproti USLE 2D. S tím by mohl souviset i zvýšený počet rastrových elementů v kategoriích erozního ohrožení 5, 6, kdy až mnohonásobně převyšují výsledky USLE 2D (Tab. 9, Grafy 5,7). Toto by mohlo být vysvětleno vstupními hodnotami LS faktorů, jimiž se modely liší. Právě LS u USLE (viz 3.3.1, 3.3.2), pracuje s jednostranným odtokem ve směru největšího sklonu, čímž dochází ke konvergenci odtoku a lokálnímu nadhodnocení smyvu (Krása 2010). USLE 2D hodnotilo LS pomocí rozložení toku. Také, je zde oproti USLE zahrnuto přerušení povrchového toku vstupní vrstvou parcel. Toto vše, ale na výsledky zastoupení ohrožených a neohrožených ploch v území nemá vliv (Tab. 11). Je zde, ale vliv na prostorovou distribuci eroze.

Při scénáři ochranného pěstování kukuřice bylo shodně vyhodnoceno navýšení hodnot eroze (lze vysvětlit vyšší hodnotou C faktoru). Nastává vliv na max. hodnotu, kdy je u USLE až dvojnásobná. Celkově má opět USLE vliv na zvýšený počet rastrových elementů v kategoriích 5 a 6 (Tab. 9, Graf 6, 8), také vykazuje ve výsledcích větší variabilitu. Je patrný vliv na prostorovou distribuci jevu a vyhodnocení

ohrožených ploch, kdy jich USLE 2D hodnotí o 1,8 % více (Tab. 12, Mapa 6, 8). Toto by mohlo být opět vysvětleno rozdílným přístupem k LS. Kdy USLE přiřazuje vyšší hodnoty středním částem svahů, to potvrzuje Mitášová et al. (1997). USLE 2D přiřazuje vyšší hodnoty v celém profilu svahu.

Právě odlišné LS byl jediným rozdílem ve vstupních datech a jako takový ovlivnil výsledky. Nižší absolutní hodnoty USLE 2D oproti USLE potvrzuje Životić (2012).

Zhodnocení ochranného osevního postupu erozně-sedimentačními modely WATEM/SEDEM a USPED přináší výsledky rozdílné (Tab. 13). Jako u modelů erozních je největší rozdíl v min. a max. hodnotách. Shodně jsou tyto hodnoty lokalizovány v drahách soustředěného odtoku, avšak USPED těchto ploch předkládá víc a s větším důrazem na hodnoty eroze i depozice. To může být vysvětleno tím, že USPED zdůrazňuje topografickou komplexitu (Warren et al. 2005). Znatelný je vliv na rozdělení rastrových elementů výsledků mezi kategoriemi erozního ohrožení (Tab. 8, Graf 1,3) kdy je nejzřetelnější v kategoriích 4–10. S tím přichází i rozdíly v hodnocení území, kdy např. WATEM/SEDEM určil o 23,5 % více ploch neohrožených. USPED naopak vyhodnocuje mnohem více míst eroze a depozice. Ty jsou četně pozorovány ve vzájemném střídání. To zmiňuje i Vysloužilová, Kliment (2012) s vysvětlením změn v transportní kapacitě. USPED lépe zachycuje výskyt depozice při přechodu z orné půdy na travní porost, to také ve své studii zaznamenali Vysloužilová, Kliment (2012).

Při zhodnocení ochranného pěstování kukuřice jsou opět znát vlivy rozdílných přístupu (Tab. 14). Shodně došlo k rozšíření erozně ohrožených ploch, ovšem s jinou prostorovou distribucí a intenzitou. WATEM/SEDEM oproti USPED pružněji reaguje na změnu C faktoru, což zmiňuje Vysloužilová, Kliment (2012). Modely opět lokalizují max. a min. hodnoty do drah soustředěného odtoku, avšak s rozdílnou intenzitou. USPED opět zachovává důraz na topografii terénu. Celkově lze pozorovat větší variabilitu v hodnotách výsledků USPED. Také počty rastrových elementů jsou variabilněji rozděleny v kategoriích erozního ohrožení (Tab 8, Graf 2,4).

Celkově by bylo vhodné dle Životiće et al. (2012) lokality vyhodnocených max. hodnot porovnat s terénním šetřením (to bylo provedeno jen před zhodnocením ohrožení). Hodnoty výsledků také mohou být ovlivněny více faktory. Jedním z nich je zvolené rozlišení vstupních dat. Kdy odhad celkové ztráty půdy klesá se stoupajícím rozlišením rastru (Wu et al. 2005). Ve studii zvolená rozlišení odpovídají doporučeným (Warren 1998; Notebaert et al. 2006; MZe 2010). Podle Životiće (2012) jsou dále

výsledky závislé na kvalitě vstupních map. Tu lze ovlivnit použitými zdroji pro tvorbu map. Data ZABAGED, použita k tvorbě DEM, jsou dle Krásky (2010) nejpodrobnější z dostupných komerčních databází. Přesnost DEM vytvořeného na tomto základu je dán přesností zdrojových dat, jenž jsou digitalizované vrstevnice analogové mapy. Vysokou přesnost dat nabízí metoda laserového skenování LIDAR (Light Detection and Ranging), použitou Zhang et al. (2008), přesnost se však odráží ve vyšší pořizovací ceně. Levná jsou data SRTM (Shuttle radar topography mission), ale ze zmíněných zdrojů jsou nejméně přesná. Dále lze diskutovat o zvolené hodnotě R faktoru, kdy dle Krásky (2010) je hodnota R faktoru řešeného území 77, avšak sám autor respektuje běžně používanou hodnotu 20 při návrzích PEO na základě přípustné ztráty půdy.

	Průměrná hodnota eroze (t/ha/rok)	Max. hodnota eroze (t/ha/rok)	SD	Ohrožené plochy (%)	Neohrožené plochy (%)
USLE	2,21	94,5	3,9	3	97
USLE 2D	2,2	48	3,25	3,3	96,7

**Tab. 11 Shrnutí výsledků ochranného osevního postupu (USLE, USLE 2D)**

	Průměrná hodnota eroze (t/ha/rok)	Max. hodnota eroze (t/ha/rok)	SD	Ohrožené plochy (%)	Neohrožené plochy (%)
USLE	3,4	159,6	6,26	6,7	93,3
USLE 2D	3,2	77	4,77	8,5	91,5

**Tab. 12 Shrnutí výsledků ochranného pěstování kukuřice (USLE, USLE 2D)**

	Průměrná hodnota (t/ha/rok)	Max.hodnota eroze (t/ha/rok)	Max. hodnota depozice (t/ha/rok)	SD	Ohrožené plochy (%)	Neohrožené plochy (%)	Depozice (%)
USPED	-2,88	-3489	4161	254,95	13	66	21
WATEM/SEDEM	-1,57	-63	341	9,21	5	89,5	5,5

**Tab. 13 Shrnutí výsledků ochranného osevního postupu (USPED, WATEM/SEDEM)**

	Průměrná hodnota (t/ha/rok)	Max.hodnota eroze (t/ha/rok)	Max. hodnota depozice (t/ha/rok)	SD	Ohrožené plochy (%)	Neohrožené plochy (%)	Depozice (%)
USPED	-4,3	-3805	4853	311,36	16,7	62,3	21
WATEM/SEDEM	-2,3	-69	341	13,75	11,8	81,8	6,4

**Tab. 14 Shrnutí výsledků ochranného pěstování kukuřice (USPED, WATEM/SEDEM)**

Z výše diskutovaných výsledků lze vyvodit vliv modelů na hodnocení erozní ohroženosti území a tedy následné protierozní opatření (speciálně u erozně-sedimentačních modelů). Jak je prezentováno ve výsledcích, bylo v území nutné navrhnout PEO, obzvláště při scénáři ochranného pěstování kukuřice. Ačkoliv jde o účinný management, kdy např. Verstraeten et al. (2003a) ve své studii (při velmi podobném scénáři) zaznamenal redukci ztráty půdy o 35 %, byla zde i tak potřeba



rozšíření protierozní ochrany. To bylo provedeno vytvořením mimoprodukčních prvků a prvků podporující přerušení povrchového toku a jeho infiltraci (Tab. 10). Výsledky návrhů PEO lze porovnat s Šarapatkou et al. (2011), kdy se rozdíl účinnosti GAEC a individuálního přístupu PEO pohyboval kolem 30 %. Autoři zdůraznili vliv zatravnění a LPEO při aplikaci protierozní ochrany. Vliv travních porostů na výpočet erozního ohrožení je dán jeho nízkou hodnotou C faktoru (0,005). Kdy snížení erozního smyvu je ovlivněno menší kinetickou energií vody (Li et al. 2010) Pozitivní vliv travních porostů dále dokumentují Souchere et al. (2003), Verstraeten et al. (2003a) , Jankauskas et al. (2004). Dle Kędziora (2010) začlenění neprodukčních prvků (zatravnění) zlepšuje vodní bilanci území, podporuje biodiverzitu a redukuje znečištění podzemních vod až o 90 %. Funkci travních porostů jako „biologického filtru“ zmiňují Mrkvička et al. (2007) Z těchto důvodů je potřeba dodržovat ochranný zatravněný pás podél vodního toku v území. Toto opatření má pozitivní vliv na zadržování sedimentů, dle studie Verstraeten et al. (2003a) má účinnost 19 %. Toto opatření však v návrhu PEO zahrnuto není, protože se podle vstupních dat vodní tok nedotýká obhospodařovaných ploch území. V praxi tomu tak není (Fotografie 6).

Mimo plošného zatravnění jsou navržena i LPEO. Jejich umístěním dochází k přerušení povrchové toku a snížení hodnoty LS faktoru (Tab. 6,7) Největší část z LPEO zaujímají s 11 ha zasakovací pásy. Jejich aplikaci zhodnotili Verstraeten et al. (2003a) redukcí ztráty půdy o 3 %. Vliv historických krajinných struktur (křoviny, travnaté pásy a cesty) na redukcí eroze v Sasku zhodnotili Shob et al. (2006) účinností 37,2 %. Fiener, Auerswald (2006) zjišťují 87–93 % redukcí smyvu a tvorby sedimentů u stabilizované dráhy soustředěného odtoku v pokročilém sukcesním stádiu.

Dle studie Trantinové (2011) prováděné v povodí Bečvy (kde spadá studovaná lokalita) nepřisuzují hospodařící subjekty LPEO velký protierozní účinek. Těmto opatřením se vyhýbají i z důvodů omezeného hospodaření na orné půdě. Podle Derpsche (2005 ex Lahmar 2010) je půdoochranný přístup evropských farmářů stále velmi slabý v porovnání s dalšími regiony světa. Verstraeten et al. (2003b) vidí úspěch ve spolupráci vědců, farmářů a osvětě, kdy je důležité ukázat v praxi účinnost opatření. Ve studovaném území je z převážné části prováděno zakládání porostů bezorebným managementem, který je šetrný k životnímu prostředí (Lafond et al. 2006). Ten je v území prováděn speciální mechanizací (např.: Horsch Maestro 8.75 CC pro kukuřici). Ale i tak může takové zakládání porostů mít negativní projevy (Fotografie 1).

Při zhodnocení erozního ohrožení území výše zmíněnými modely došlo ve všech výsledcích k potřebě rozšíření protierozních opatření GAEC. To ovlivnilo návrh doplňujících PEO, protože USPED a USLE zdůrazňují vlastnosti terénu, výsledky WATEM/SEDEM, USLE 2D zahrnují prvky přerušující povrchový tok, modely se lišily v lokalizaci erozních procesů a hodnotách. Budoucí zhodnocení výsledků erozních modelů by bylo určitě vhodné provést s porovnáním terénního měření a hlubší statistickou analýzou. Navrhnuté mimoprodukční prvky LPEO snížily průměrnou hodnotu erozního smyvu z 2,3–3,2 t/ha/rok na 1,45–2 t/ha/rok a zvýšily tak plochu mimo ohrožení o 5,9–6,2 %. Případná realizace LPEO by měla účinně doplnit opatření GAEC a tak snížit tlak intenzivního hospodaření na půdu a vodní ekosystémy. Také by podpořila krajinný ráz a biodiverzitu oblasti.

## 6. Souhrn

V předkládané studii bylo provedeno zhodnocení erozních procesů na zemědělské půdě v katastru obce Kunovice. To bylo vytvořeno pomocí erozních modelů USPED, WATEM/SEDEM, USLE, USLE 2D. Ty byly vybrány na základě nenáročnosti na vstupní data a zpracování. Použití těchto modelů také přineslo další zkušenosti s jejich aplikací v našich podmínkách. Kdy například zpracování pomocí WATEM/SEDEM bylo praktičtější při obměně vstupních dat oproti těžkopádnějšímu USPED. Podobně lze zhodnotit z pohledu uživatele i USLE 2D a USLE. Omezení USLE 2D však přináší užití v operačním systému Windows XP a nižší, což může činit problém.

Postup zpracování modelů měl vliv na vyhodnocené erozní procesy v území. Jak na absolutní hodnoty tak na prostorovou distribuci. Model USPED vyhodnocoval vyšší průměrné hodnoty erozního smyvu oproti WATEM/SEDEM a vykazoval také vyšší variabilitu a max. hodnoty ve výsledcích při všech scénářích. V prostoru studovaného území USPED vyhodnotil více ploch s erozním ohrožením a depozicí sedimentu. WATEM/SEDEM převyšoval plochami neohroženými. Průměrné hodnoty USLE a USLE 2D již tak rozdílné nejsou avšak hodnoty výsledků USLE jsou variabilnější s důrazem na max. hodnoty. Tyto modely také podobně rozdělily území na plochy ohrožené a bez ohrožení.

Tyto všechny výsledky byly zohledněny v navržených PEO. Ty byly vytvořeny z důvodu vyhodnocení nedostatečného účinku PEO GAEC v území. Doplňujícími opatřeními byly navrženy liniová opatření o celkové ploše 16,6 ha a rozšíření zatravnění o 24,64 ha. Tím se zvedla účinnost GAEC o 37–37,5 %. Ačkoli výsledky modelů jsou ovlivněny mnoha faktory mohou jejich vyhodnocení přiblížit realitu erozních procesů ve studovaném území z čehož lze vyvodit opatření pro předcházení škodlivých účinků vodní eroze v území.

## 7. Literatura

Auerswald K. 2006. Germany. In: Boardman J, Poesen J, editors. Soil erosion in Europe. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 213–227.

Bakker MM, Govers G, Jones R, Rounsevell M. 2007. The Effect of Soil Erosion on Europe's Crop Yields. *Ecosystems*. 10(7):1209–1219.

Bobál P, Novotná J, Podhorányi M, Říhová V, Unucka J. 2012. Srovnání metod stanovení vodní eroze RUSLE, USPED s numerickým modelem SIMWE na povodí Rožnovské Bečvy. *Vodní hospodářství*. 6:224–228.

Cáblík J, Jůva K. 1963. Protierozní ochrana půdy. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 324 s.

Česká republika. Nařízení vlády č. 479/2009 Sb., o stanovení důsledků porušení podmíněnosti poskytování některých podpor. In: *Sbírka zákonů*. 2009.

Česká republika. Zákon č. 139/2002 Sb., o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech a o změně zákona č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů*. 2002.

Desmet PJJ, Govers G. 1996a. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation*. 51:427–433.

Desmet PJJ, Govers G. 1996b. Comparison of Routing Algorithms for Digital Elevation Models and their Implications for Predicting Ephemeral Gullies. *International Journal of GIS*. 10:311–331.

Ekotoxa. Voda v krajině - Operační program životní prostředí: Katalog PBPO. Voda v krajině - Horní Opava [online]. 2010 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <http://www.vodavkrajine.cz/index.php/navrhy-opatreni/plochy-pov>

Favis-Mortlock D. Soil Erosion Site [online]. 2005 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://soilerosion.net/>>.

Fiener P, Auerswald K. 2006. Seasonal variation of grassed waterway effectiveness in reducing runoff and sediment delivery from agricultural watersheds in temperate Europe. *Soil and Tillage Research*. 87:48–58.

Fulajtár E, Jánský L. 2001. Vodná erózia pôdy a protierozná ochrana. Bratislava: Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, 310 s.

Janeček M et al. 2002. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha: ISV nakladatelství, 201 s.

Janeček M et al. 2007. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha: VÚMOP, v.v.i. 76 s.

Jankauskas B, Jankauskiene G, Fullen MA. 2004. Erosion-preventive crop rotation and water erosion rates on undulating slopes in Lithuania. *Canadian journal of soil science*. 84(2):177–186.

Kadlec J. LS-faktor: Výpočet LS-faktoru (RUSLE) s využitím GIS a USLE2D. Plaveniny [online]. 2006 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <http://www.plaveniny.cz/cz/rusle/ls-faktor/>

Kędziora A. 2010. Landscape management practices for maintenance and enhancement of ecosystem services in a countryside. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 10(2-4):133–152.

Kráska J. 2010. Empirické modely vodní eroze v ČR – nástroje, data, možnosti a rizika výpočtů [Habilitationní práce]. Praha: České vysoké učení technické v Praze.

Lafond GP, May WE, Stevenson FC, Derksen DA. 2006. Effects of tillage systems and rotations on crop production for a thin Black Chernozem in the Canadian Prairies. *Soil & Tillage Research*. 89(2):232–245.

Lahmar R. 2010. Adoption of conservation agriculture in Europe Lessons of the KASSA project. *Land use policy*. 27: 4–10.

Lal R. 2000. Soil management in the developing countries. *Soil Science*. 165(1):57–72.

Li M, Yao WY, Li L, Yang JF, Yang CX, Ding WF. 2010. Effect of grass cover on the change of overland flow energy in the slope-gully side erosion system. *Proceeding of the 4th international Yellow river forum on ecological civilization and river ethics*. 3:143– 149.

[MZe] Ministerstvo zemědělství ČR. 2010. Metodický návod k provádění pozemkových úprav. Praha: Ministerstvo zemědělství – Ústřední pozemkový úřad. 125 s.

[MZe] Ministerstvo zemědělství ČR. 2011. Příručka ochrany proti vodní erozi. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR. 56 s.

Mitáš L, Mitášová H. 1998. Distributed erosion modeling for effective erosion prevention. *Water resources research*. 34(3):505–516.

Mitášová H, Hofierka J, Zlocha M, Iverson LR. 1996. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*. 10(5):629–641.

Mitášová H, Hofierka J, Zlocha M, Iverson LR. 1997. Reply to Comment by Desmet and Govers. *International Journal of Geographical Information Science*. 11(6):611–618

Mitášová H. Modeling soil detachment with RUSLE 3d using GIS. Surface Processes Group at North Carolina State University [online]. 1999 [cit. 2013-02-11]. Dostupné z: <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/denix/usle.html>

Morgan RPC. 2005. Soil erosion and conservation. Oxford: Blackwell Science Ltd a Blackwell Publishing company, 310 s.

Mrkvička J, Veselá M, Niňaj M. 2007. Trvalé travní porosty: Jejich funkce v krajině. In: Švachula V, Petr J. Ekologické zemědělství 2007. Ekologické zemědělství 2007; 6.2.–7.2 2007; Praha, Suchdol. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007. 186–190.

Notebaert B, Vaes B, Verstraeten G, Govers G, Van Oost K, Rompaey A. 2006. Datem/SEDEM 2006 Manuel. Physical and Regional Geography Research Group. Katholic university Leuven.

Ouyang D. About RUSLE. RUSLE – an online soil erosion assessment tool [online]. 2002 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <http://35.8.121.139/rusle/about.htm>

Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P, Sinclair K, Kurz D, McNair M, Crist S, Schpritz L, Fitton L, Saoffouri R, Blair R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*. 267:1117–1123.

Pimentel D, Kounang N. 1998. Ecology of Soil Erosion in Ecosystems. *Ecosystems*. 1(5):416–426.

Sawicki L, Koňář M, Hubáček J, Kašparová R. 2011. Územní plán Kunovice. Vsetín. Obec Kunovice; Kraj Zlínský. 24 s.

Schob A, Schmidt J, Tenholtern R. 2006. Derivation of site-related measures to minimise soil erosion on the watershed scale in Saxonian loess belt using the model EROSION 3D. *Catena*. 68: 153–160.

Souchère V, King Ch, Dubreuil N, Lecomte-Morel V, Le Bissonnais Y, Chalal M. 2003. Grassland and crop trends: role of the European union common agricultural policy and consequences for runoff and soil erosion. *Environmental science & policy*. 6(1):7–16.

Šarapatka B, Dlapa P, Bedrna Z. 2002 Z. Kvalita a degradace půdy. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 346 s.

Šarapatka B, Netopil P, Pavlík F, Baran J. 2011. Účinnost různých postupů řešení protierozní ochrany ve vybraných územích [abstract]. In: Brtnický M, Brtnická H, Foukalová J, Kynický J, Micková Ž. editoři. Regenerace, rekultivace, revitalizace krajiny. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011, s. 38.

Tlapák V, Kratochvíl S. 1982. Voda v zemědělské krajině. Brno. Vysoká škola zemědělská v Brně. 152 s.

Toy TJ, Foster GR, Renard KG. 2002. Soil erosion: processes, prediction, measurement and control. New York: John Wiley & Sons, Inc. 338 s.

Trantinová M. 2011. Postoj české zemědělské praxe k ochraně půdy proti degradaci vlivem vodní eroze půdy. *Oecologica*. 5(1):19–27.

Van Oost K, Govers C. Usle 2D Homepage: Introduction. Katholieke universiteit Leuven: Physical and Regional Geography Research Group [online]. 2000 [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: <http://www.kuleuven.be/geography/frg/modelling/erosion/usle2dhome/references/index.htm>

Van Oost K, Govers G, Desmet P. 2000. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*. 15:577–589.

Van Rompaey AJJ, Krasa J, Dostal T, Govers G. 2003. Modelling sediment supply to rivers and reservoirs in Eastern Europe during and after the collectivisation period. *Hydrobiologia*. 494:169–176.

Van Rompaey AJJ, Verstraeten G, Van Oost K, Govers G, Poesen J. 2001. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surface Processes and Landforms*. 26:1221–1236.

Verstraeten G, Van Oost K, Van Rompaey A, Poesen J, Govers G. 2002. Evaluating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution through modelling. *Soil use and policy*. 18(4):386–394.



Verstraeten G, Van Rompaey A, Poesen J, Van Oost K, Govers G. 2003a. Evaluating the impact of watershed management scenarios on changes in sediment delivery to river? *Hydrobiologia*. 494:153–158.

Verstraeten G, Poesen J, Govers G, Gillijns K, Van Rompaey A, Van Oost K. 2003b. Integrating science, policy and farmers to reduce soil loss and sediment delivery in Flanders, Belgium. *Environmental science & policy*. 6:95–103.

Vysloužilová B, Kliment Z. 2012. Soil erosion and sediment deposition modeling at the small catchment scale. *Geografie*. 117(2):170–191.

Warren SD, Mitasova H, Hohmann MG, Landsberger S, Iskander FY, Ruzycki TS, Senseman GM. 2005. Validation of a 3-D enhancement of the Universal Soil Loss Equation for prediction of soil erosion and sediment deposition. *Catena*. 64:281–296.

Warren SD. 1998. Digital terrain modeling and distributed soil erosion simulation/measurement for minimizing environmental impact of military training. US Army corps of engineering construction engineering research laboratories. Interim report. 99(12):1–36.

Wikipedia. Polní cesta. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2012 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Poln%C3%AD\\_cesta](http://cs.wikipedia.org/wiki/Poln%C3%AD_cesta)

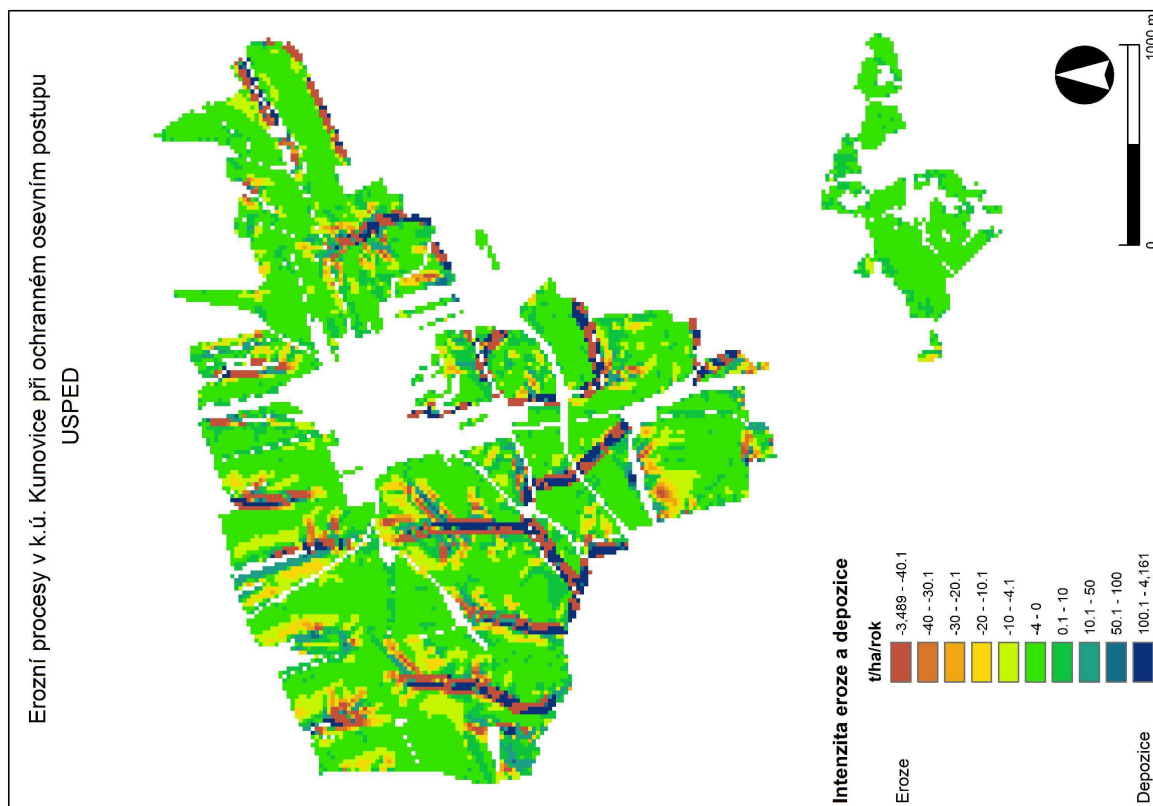
Wu S, Li J, Huang G. An evaluation of grid size uncertainty in empirical soil loss modeling with digital elevation models, Department of Agriculture, Regina, Saskatchewan, Canada. *Environ Model Assess*. 10(1):33.

Zhang JX, Chang KT, Wu JQ. 2008. Effects of DEM resolution and source on soil erosion modelling: a case study using the WEPP model. *International journal of geographical information science*. 22(8):925–942.

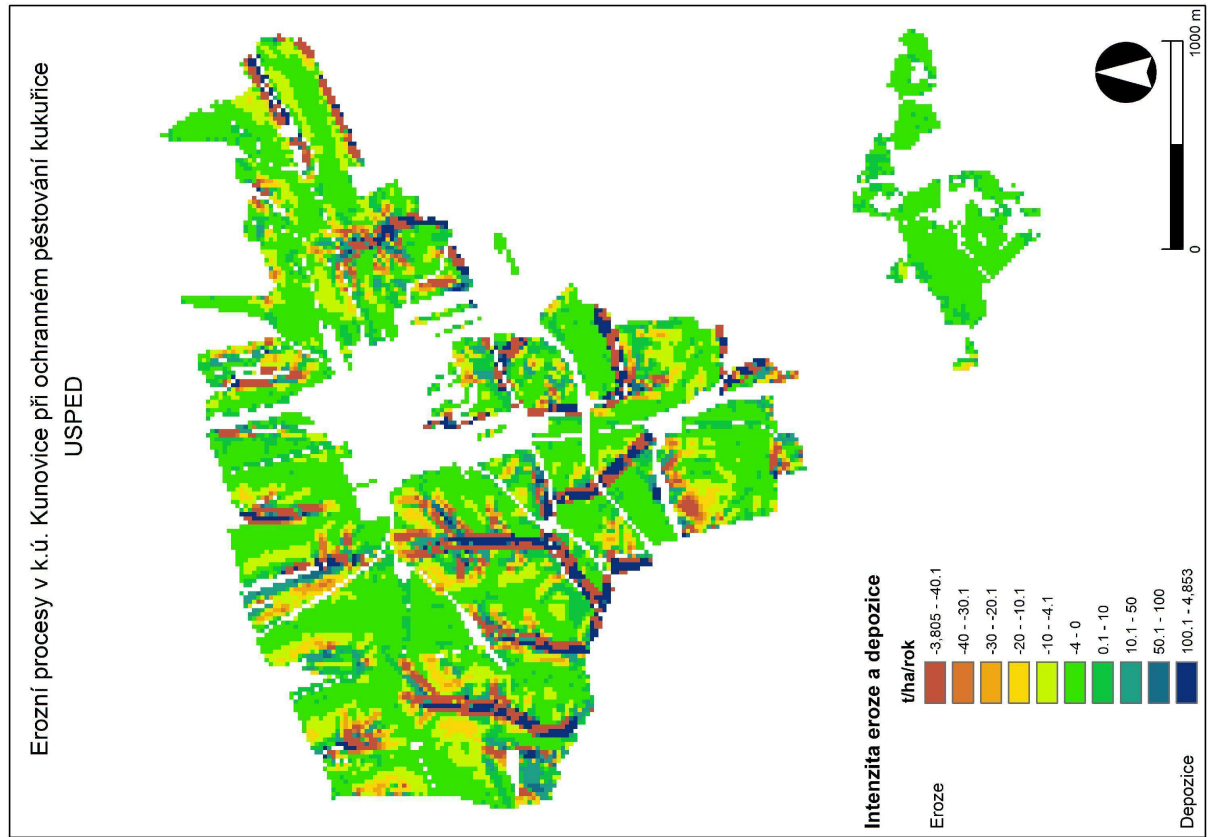
Životić L, Perović V, Jaramaz D, Dordević A, Petrović R, Todorović M. 2012. Application of USLE, GIS and remote sensing in the Assessment of soil erosion rates in southeastern Serbia. *Pol. J. Environ. Stud.* 21(6):1929–1935.

# Přílohy

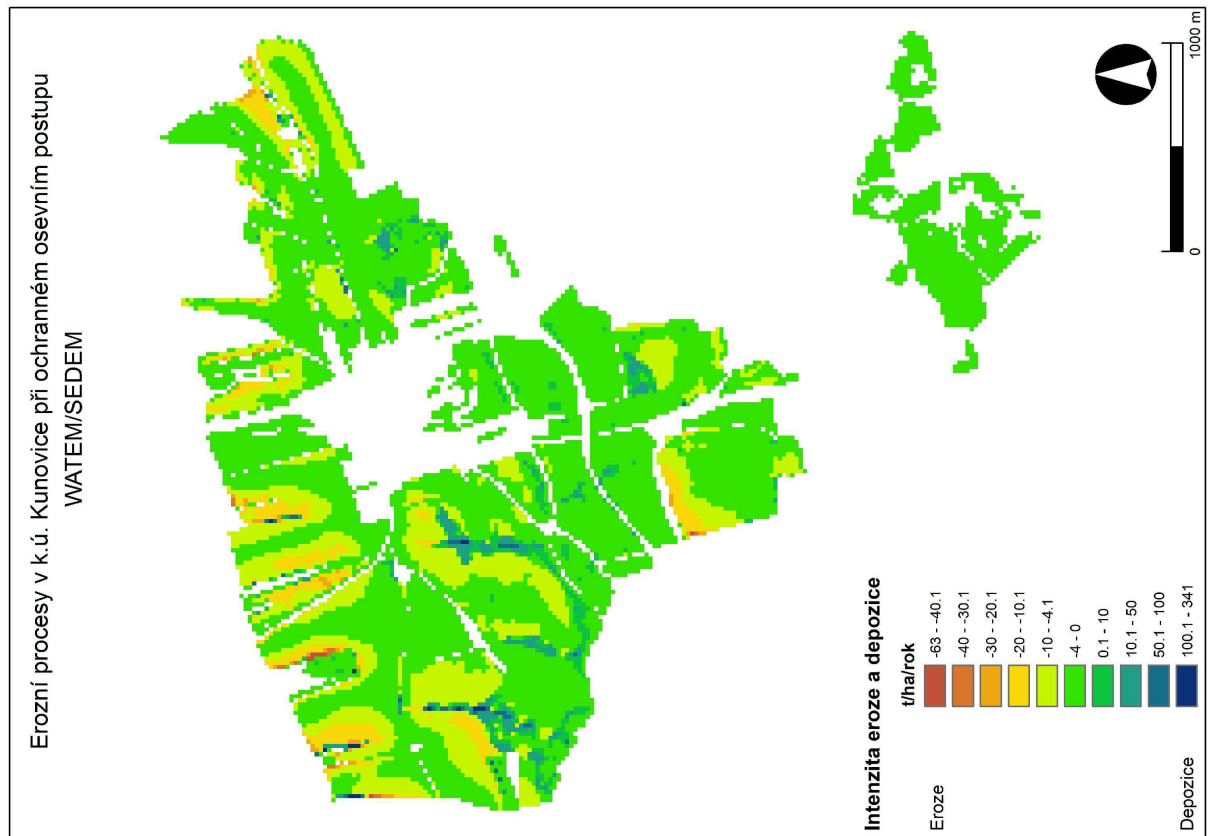
## Mapy



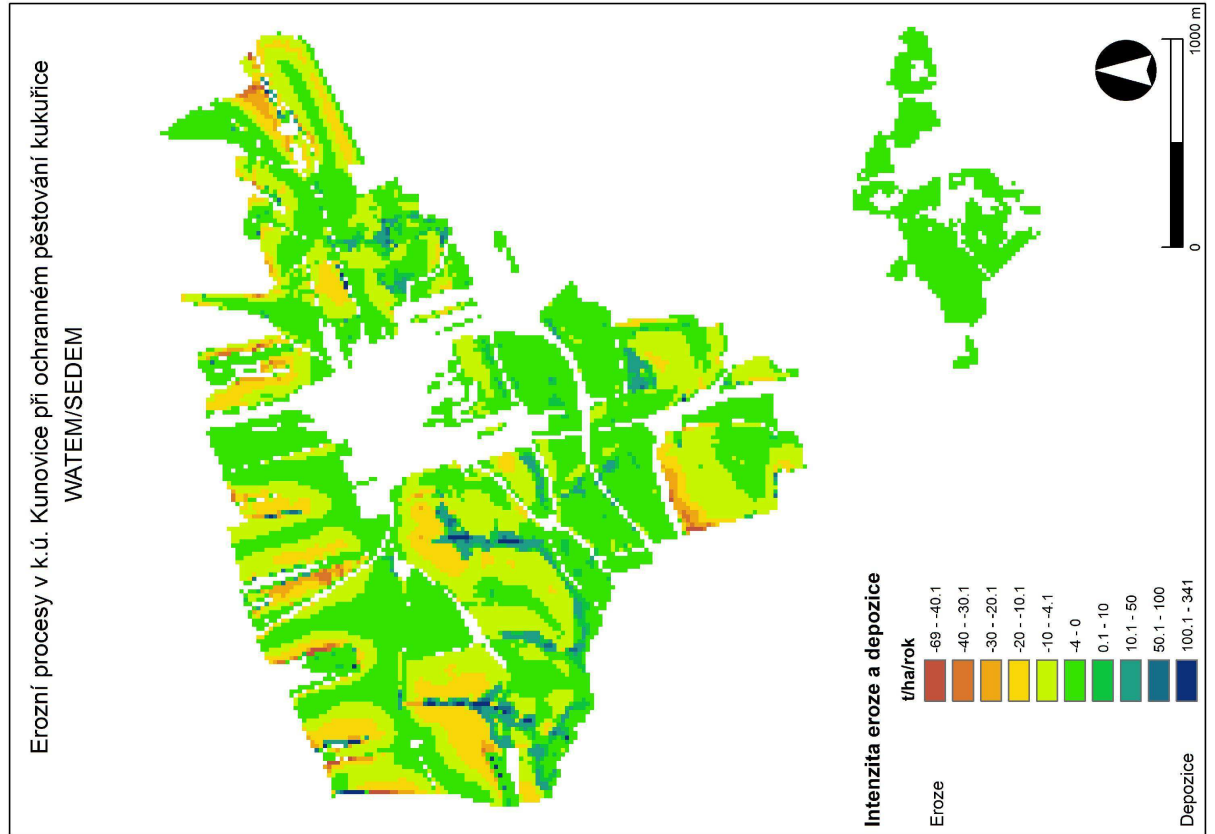
Mapa 1 Erozní procesy při ochranném osevním postupu - USPED



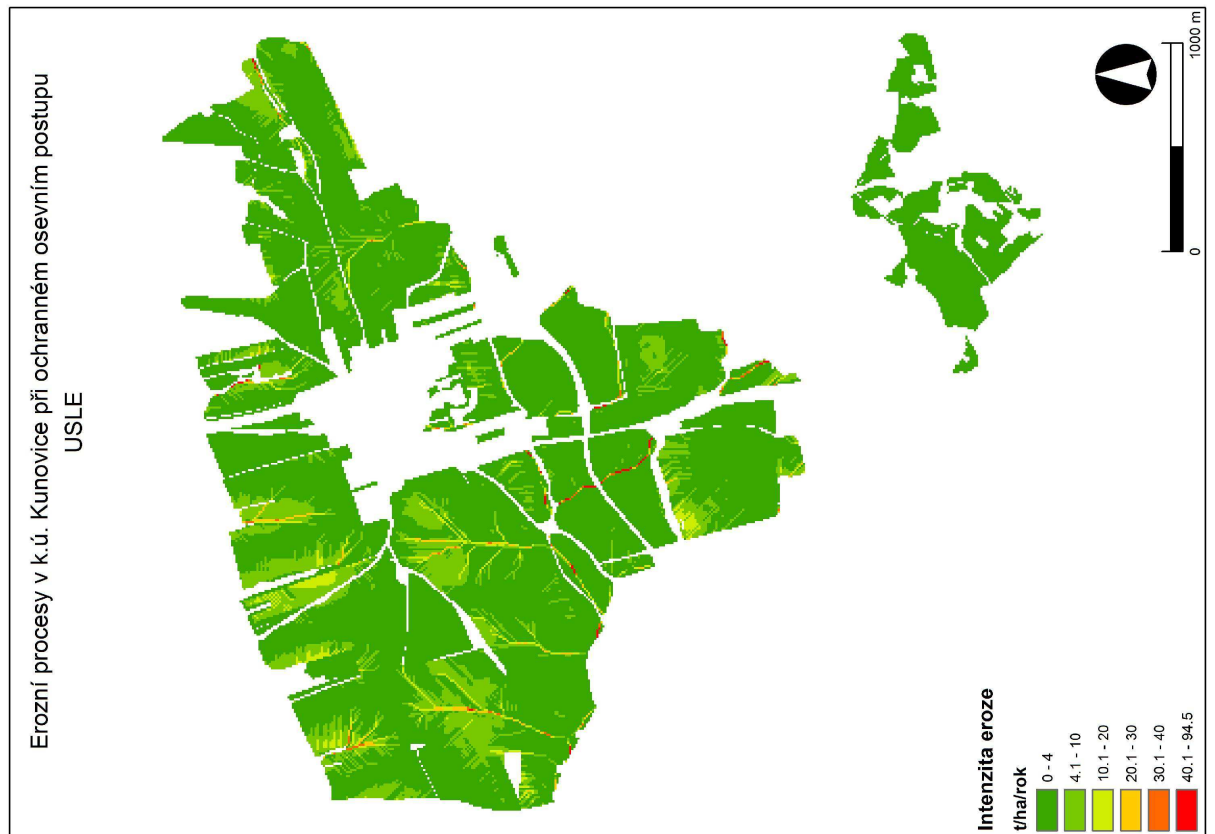
Mapa 2 Erozní procesy při ochranném pěstování kukuřice - USPED



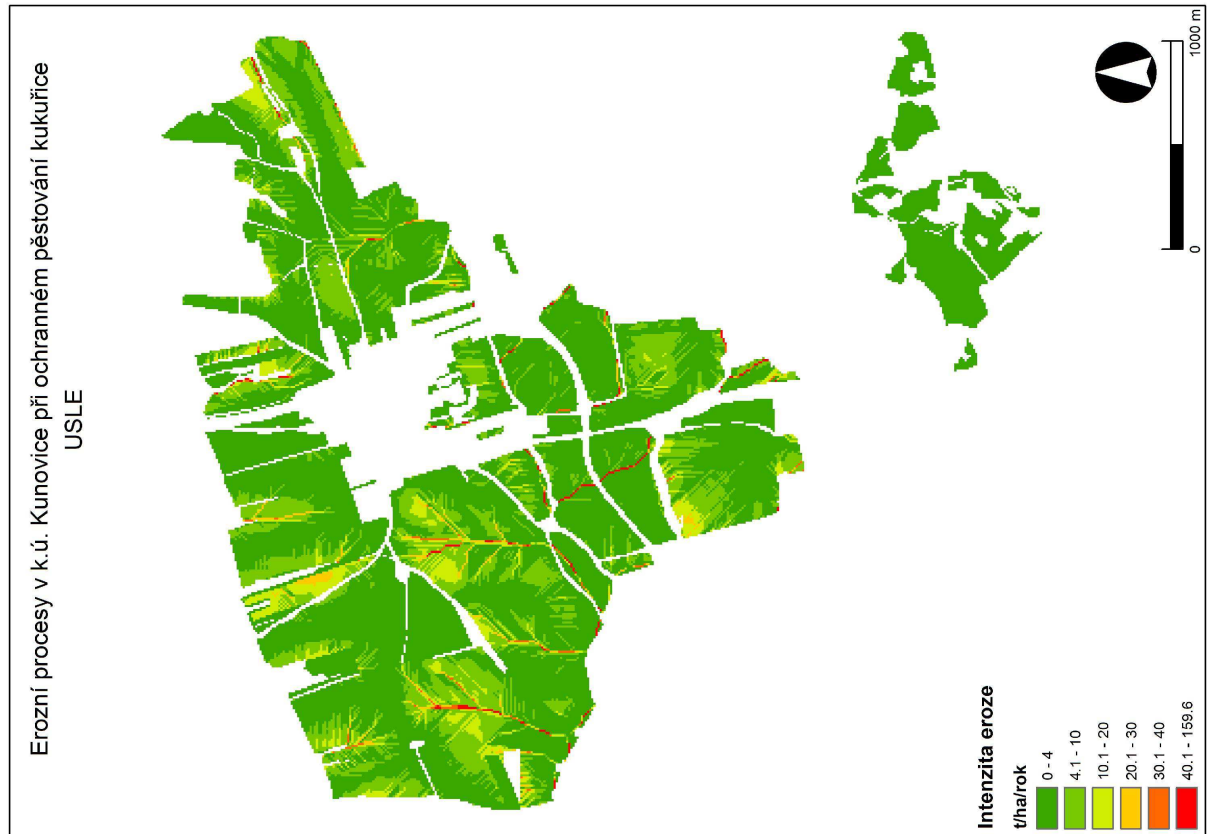
Mapa 3 Erozní procesy při ochranném osevním postupu - WATEM/SEDEM



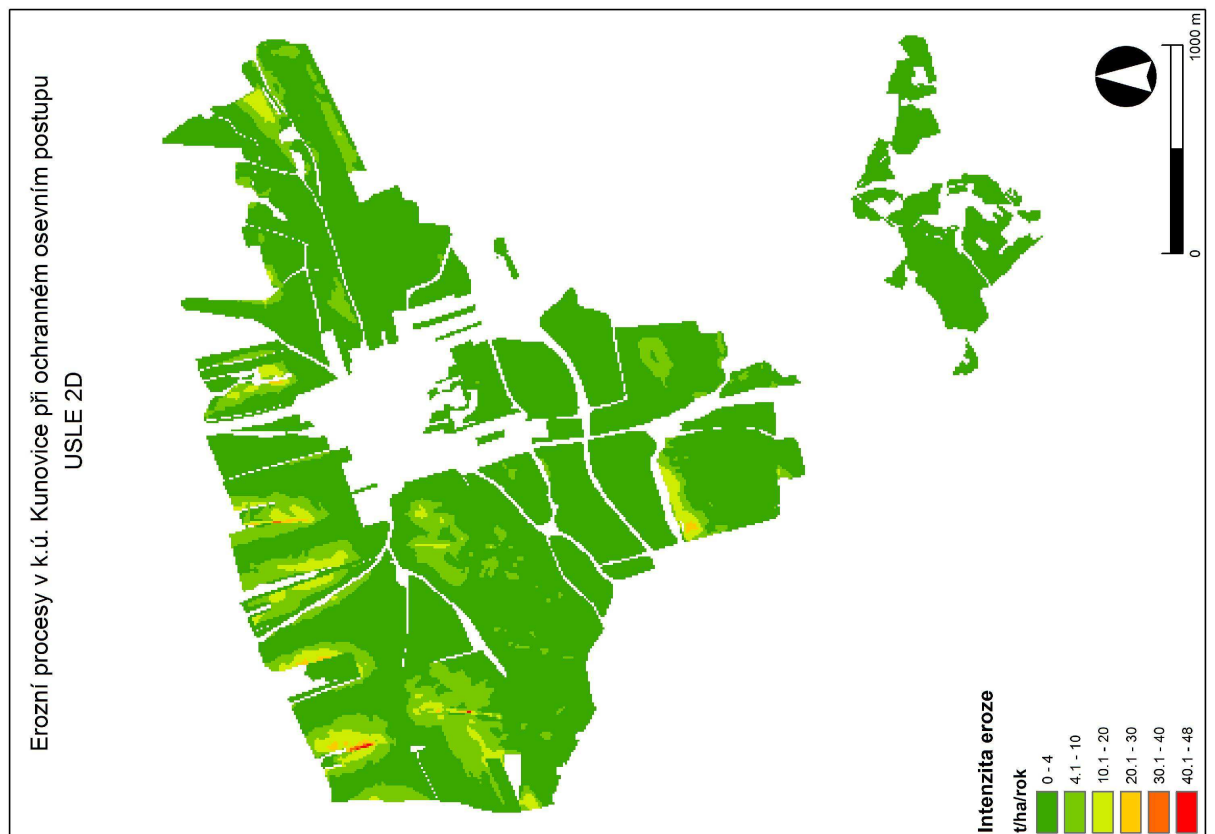
Mapa 4 Erozní procesy při ochranném pěstování kukuřice - WATEM/SEDEM



Mapa 5 Erozní procesy při ochranném osevním postupu - USLE

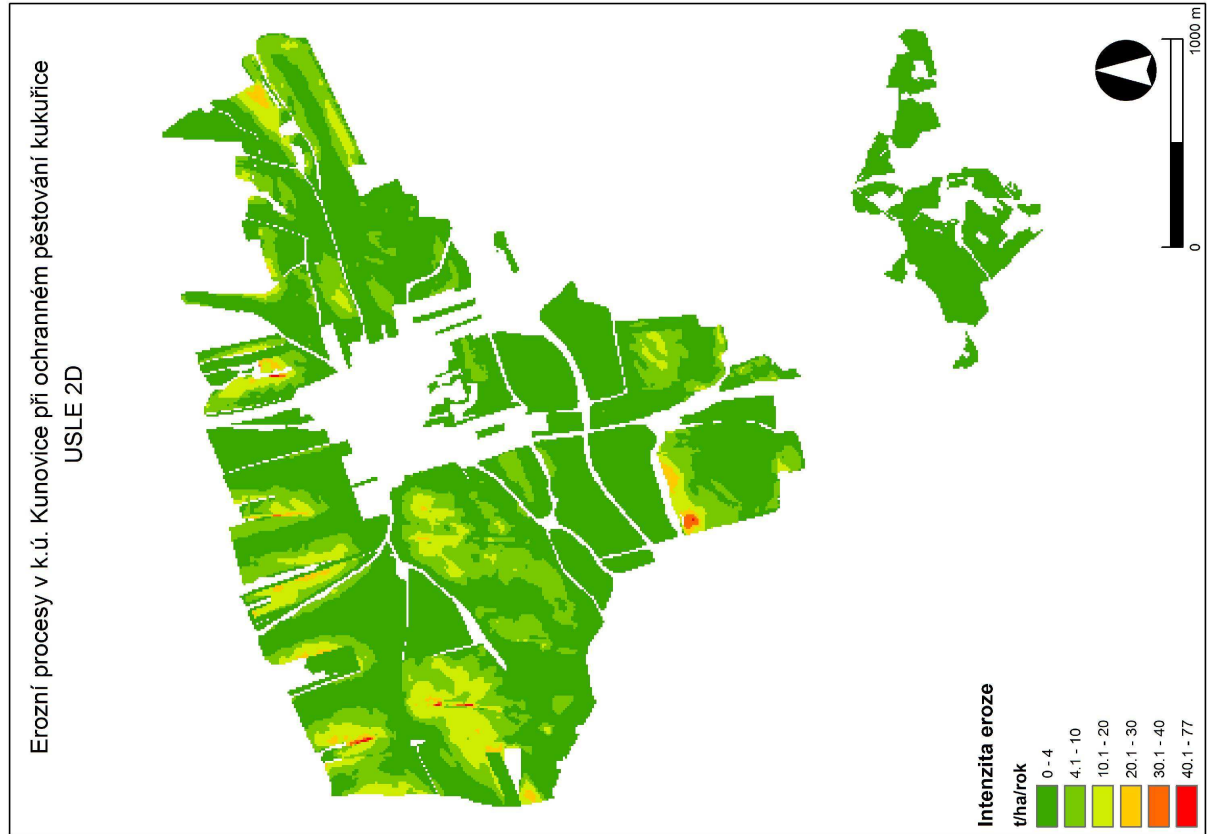


Mapa 6 Erozní procesy při ochranném pěstování kukuřice - USLE

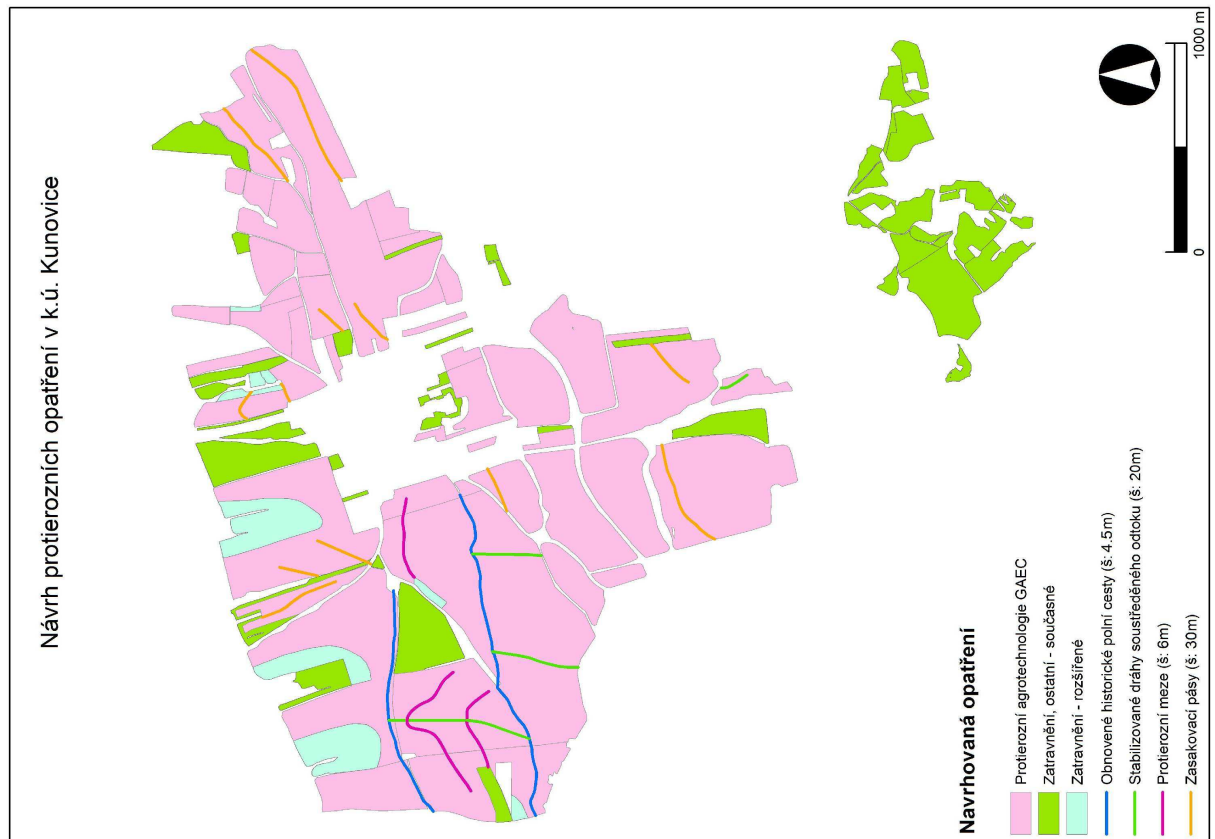


Mapa 7 Erozní procesy při ochranném osevním postupu - USLE 2D

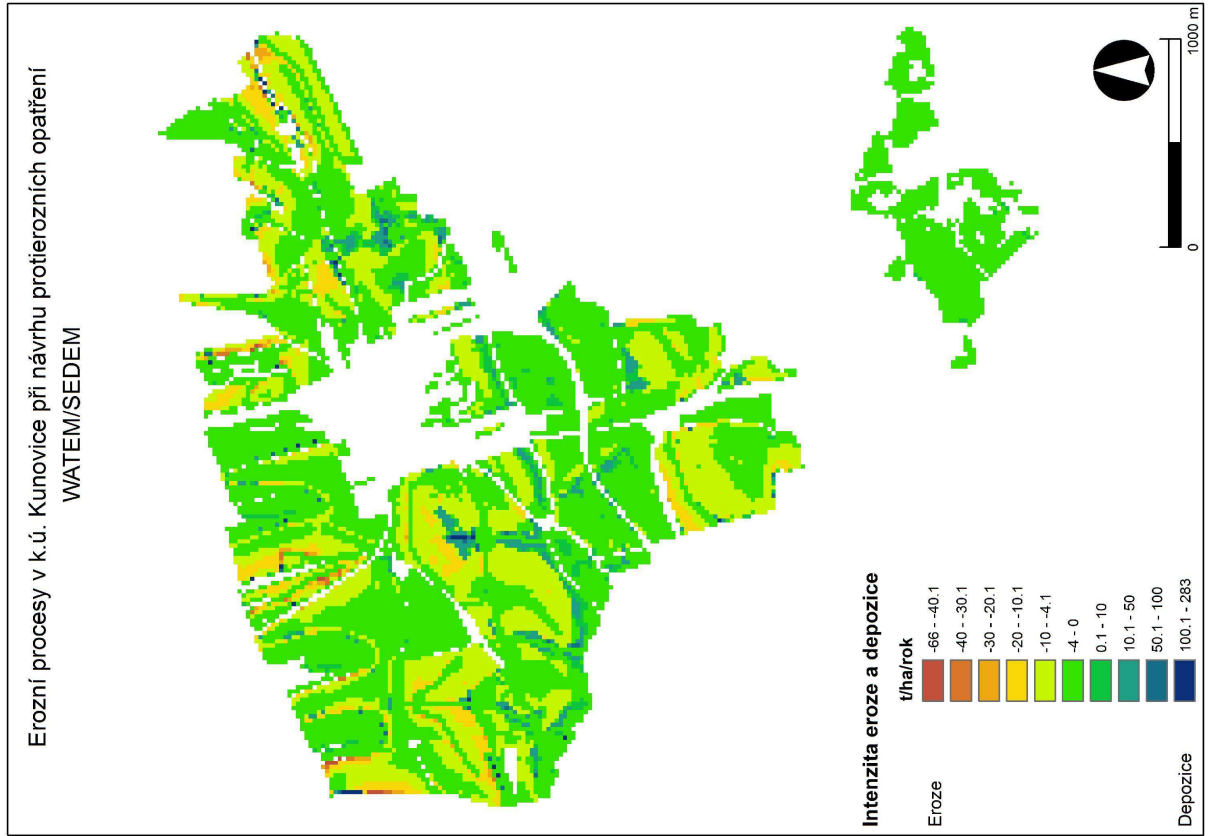




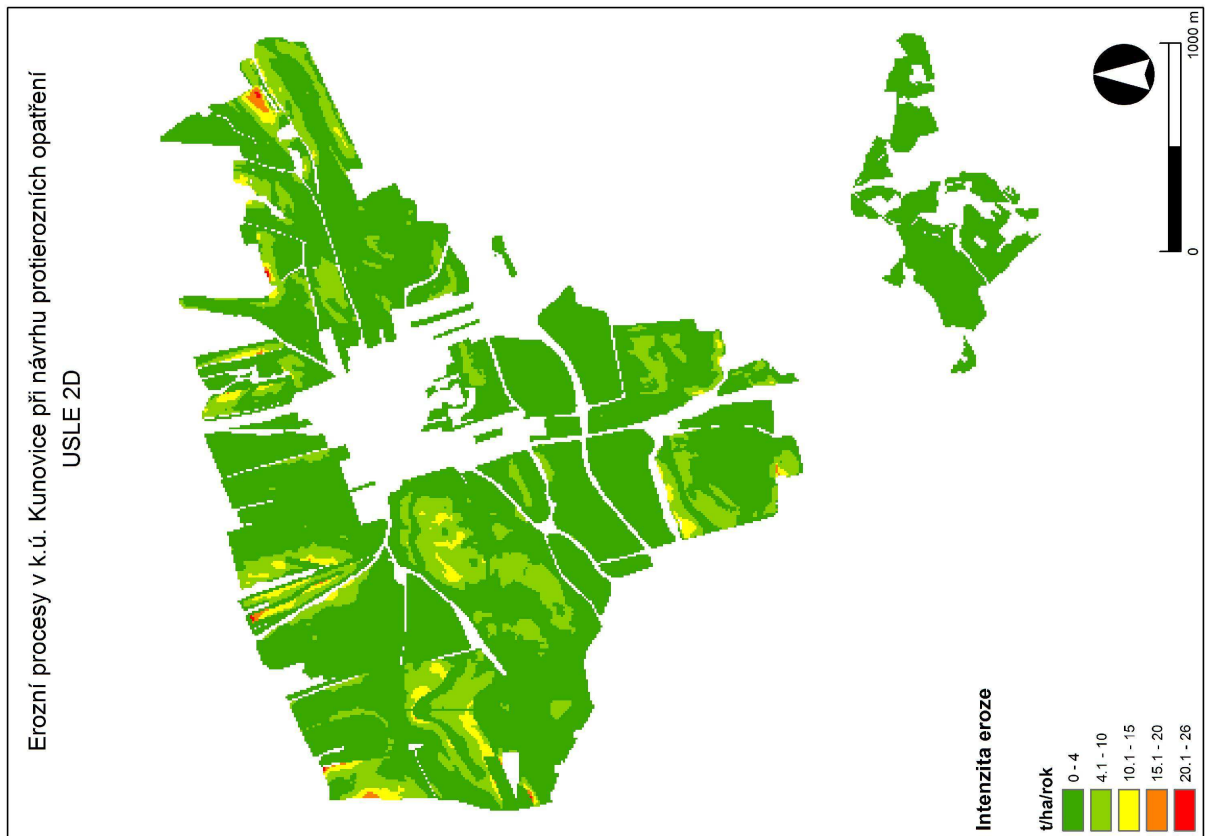
Mapa 8 Erozní procesy při ochranném pěstování kukuřice - USLE 2D



Mapa 9 Návrh protierozních opatření



Mapa 10 Erozní procesy při návrhu protierozních opatření - WATEM/SEDEM



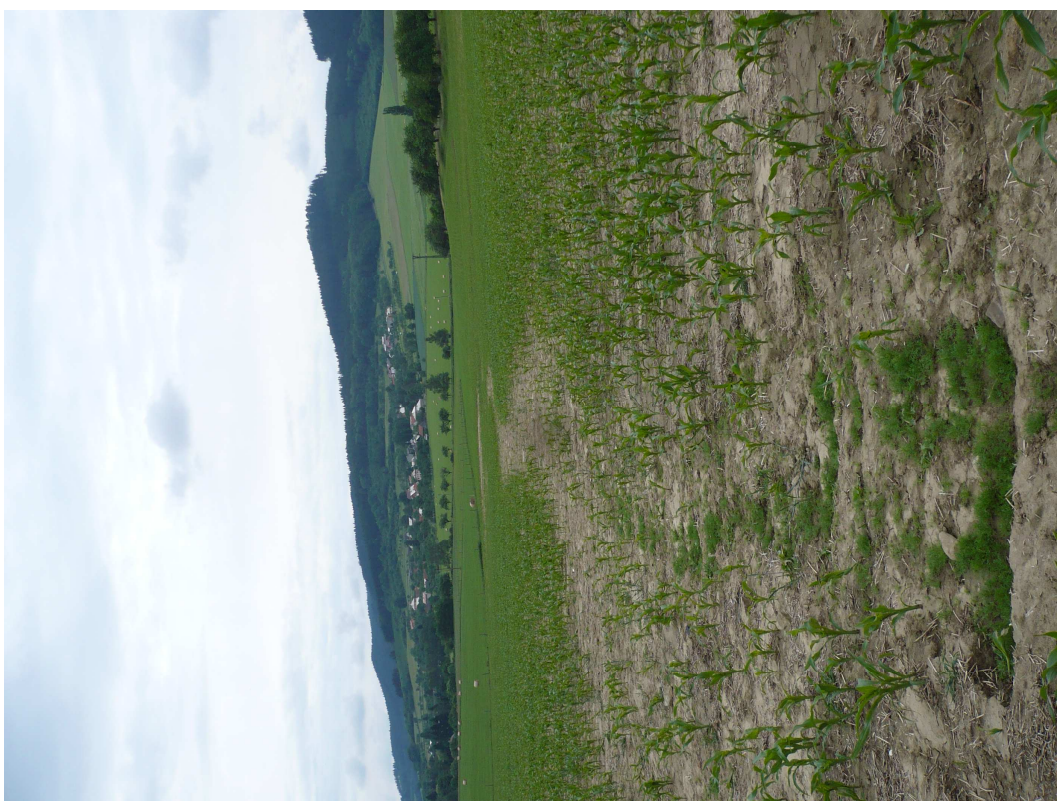
Mapa 11 Erozní procesy při návrhu protierozních opatření - USLE 2D



## Fotografie



**Fotografie 1** Erozní rýhy vzniklé v návaznosti na zakládání porostu



**Fotografie 2** Dráha soustředěného odtoku 1





**Fotografie 3 Porosty kukuřice ohrožené erozí**



**Fotografie 4 Drážka soustředěného odtoku 2**





**Fotografie 5 Splach z polí po přivalovém dešti (autor J. Haša)**



**Fotografie 6 Nedostatečná buffer zóna podél toku**