

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A ÚZEMNÍHO
PLÁNOVÁNÍ



VYHODNOCENÍ EROZNÍ OHROŽENOSTI POVODÍ MLÝNSKÉHO
POTOKA A BRZINY V PROSTŘEDÍ GEOINFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Eva Drahoňovská DiS.

Diplomant: Michaela Burešová

2015

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Evy Drahoňovské DiS., a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 22.4. 2015

.....

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat Ing. Evě Drahoňovské DiS. za podnětné připomínky a odbornou pomoc při zpracovávání této práce.

V Praze 22.4. 2015

.....

ABSTRAKT

Účelem této práce je zhodnocení erozní ohroženosti Mlýnského potoka a Brziny v blízkosti města Krásná Hora nad Vltavou. Hodnocené jsou zemědělské pozemky v povodí IV. řádu Mlýnského potoka (číslo hydrologického pořadí 1-08-05-018) a povodí Brziny (číslo hydrologického pořadí 1-08-05-30) ve Středočeském kraji.

V metodické části práce je zapsán postup výpočtů eroze v zájmovém území. Pro hodnocení erozní ohroženosti bylo využito několika výpočetních metod zpracování dat LS faktoru. Jde o program USLE 2D a výpočetní metodu podle Ing. Mitášové (1998). Data pro výpočetní techniku byla zpracována v jednom z programů GIS, konkrétně v ESRI ArcMap Desktop 10.2.

Nejohroženější pozemky zjištěné výpočetní technikou byly zkontrolovány výpočtem podle odtokových linií vzorcem USLE. Na základě výsledných hodnot byla navržena protierozní opatření a erozní ohroženost byla následně s těmito opatřeními přepočtena.

Přínosem této práce je vyhodnocení erozní ohroženosti v povodí Mlýnského potoka a Brziny. Vytvořené mapy a návrh protierozních opatření mohou sloužit jako podklady pro návrh zmenšení erozní ohroženosti zemědělských pozemků v povodích Mlýnského potoka a Brziny.

Klíčová slova: eroze, USLE 2D, Mitášová, GIS, protierozní opatření

ABSTRACT

The main objective of this work is to evaluate the threat of soil loss in basins Mlynsky stream and Brzina near the city Krasna Hora nad Vltavou. There are evaluated agricultural fields in basin of IV. order Mlynsky potok (hydrologic code 1-08-05-018) and basin Brzina (hydrologic code 1-08-05-030) in the Central Bohemian Region.

In methodological part of this work is written a process of calculation of the erosion in the chosen area. There were used different evaluation methods of soil loss for calculation of LS factor. The used ones were program USLE 2D and mathematic algorithm written by Mitsova (1998). Data for the calculation were processed in one of GIS programmes, namely in ESRI ArcMap Desktop 10.2.

The most threatened lands found by used technology were evaluated by method of flow stream lines using the equation USLE. From the gained data were suggested soil conservation measures and soil loss was thereafter again calculated.

The contribution of this work is the evaluation of soil loss in the basins of Mlynsky potok and Brzina. The created maps and suggested measures can be used as materials for a plan of soil loss reducing on agricultural land in the basins of Mlynsky potok and Brzina.

Key words: erosion, USLE 2D, Mitsova, GIS, soil conservation measures

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	CÍLE PRÁCE	10
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE	11
3.1	Úvod do eroze	12
3.2	Příčiny eroze	13
3.3	Důsledky eroze	14
3.4	Druhy eroze	15
3.4.1	Podle činitele	15
3.4.2	Podle intenzity	19
3.4.3	Podle formy	20
3.5	Výpočetní metodika	20
3.5.1	Rovnice USLE	21
3.5.2	Faktor R	21
3.5.3	Faktor K	21
3.5.4	Faktory L	24
3.5.5	Faktor S	24
3.5.6	Faktor C	24
3.5.7	Faktor P	26
3.6	GIS prostředí	26
3.6.1	Vektorový formát	26
3.6.2	Rastrový formát	28
3.7	Vytváření modelových simulací	29
3.7.1	IDW – Inverse Distance Weighted – Inverzní vzdálenost	29
3.7.2	Spline	30
3.7.3	Natural Neighbor	30
3.7.4	TIN – Triangulated Irregular Network	30

3.7.5	Topo to Raster	31
3.7.6	Další způsoby získání DMR	31
3.8	Výpočetní metody v GIS	32
3.8.1	Výpočetní metoda pomocí USLE 2D	34
3.8.2	Výpočetní metoda podle Mitášové	35
4	ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ	38
4.1	Morfologické poměry	38
4.2	Geomorfologické zařazení území	39
4.3	Typologie krajiny	39
4.4	Klimatické poměry	40
4.5	Hydrologické poměry	40
4.6	Půdní poměry	40
4.7	Geologické poměry	44
5	METODIKA	45
5.1	Výpočetní metoda faktoru LS podle Mitášové	46
5.2	Výpočetní metoda faktoru LS podle USLE 2D	48
5.3	Výpočetní metoda faktoru LS podle odtokových linií	50
5.4	Výpočet K faktoru	53
5.4.1	Výpočty v GIS prostředí	53
5.4.2	Výpočet podle odtokových linií	54
5.5	Výpočet C faktoru	55
5.6	Výpočet erozní ohroženosti podle Mitášové	57
5.7	Výpočet erozního ohrožení pomocí USLE 2D	58
5.8	Protierozní opatření	59
5.8.1	Organizační opatření	59
5.8.2	Technická opatření	63
6	VÝSLEDKY	70

6.1	Současný stav erozního ohrožení v povodí Mlýnského potoka a Brziny.....	70
6.1.1	Zhodnocení metodou USLE 2D	70
6.1.2	Zhodnocení podle Mitášové	74
6.1.3	Zhodnocení podle odtokových linií.....	77
6.2	Zhodnocení erozní ohroženosti v návrhu protierozních opatření.....	77
6.2.1	Metoda USLE 2D v celém území.....	78
6.2.2	Zhodnocení podle Mitášové	81
6.2.3	Zhodnocení erozní ohroženosti odtokovými liniemi.....	84
7	DISKUZE	85
8	ZÁVĚR	87
9	LITERATURA	88
10	PŘÍLOHY	91

1 ÚVOD

Půda je neocenitelný přírodní zdroj. Při jejím obhospodařování bychom se měli snažit o uchování její úrodnosti a jejích funkcí. V půdě jsou totiž obsaženy minerály a živiny, které jsou klíčovými prvky pro život rostlin. Pro zemědělství půda však není pouze místem pro pěstování plodin pro člověka, ale i stanovištěm pro růst krmiva pro hospodářská zvířata. Půda je tedy zásadní i pro život zvířat.

V minulosti nebyl na správný způsob obhospodařování půdy kladen důraz. Vysokému odtoku půdních částic nebyla věnována pozornost. V průběhu mechanizace se postupně začaly zvětšovat orné stroje, které svojí vahou zhutňovaly půdu svými koly. Dnes během jednoho roku tyto stroje naježdí přes 1 ha pole desítky kilometrů.

Půda je nejdůležitějším, ale zároveň i nejzranitelnějším článkem v rámci zemědělství. Při špatném hospodaření s ní se hodnota půdy postupně snižuje. Cennost půdy totiž tkví v jejích možnostech poskytování živin rostlinám. Eroze ohrožuje půdu snižováním jejích kvalit, vyplavováním cenných živin a odnosem samotných půdních částic. Pokud tedy vystavíme půdu dlouhodobé erozi, riskujeme více než její pouhé znehodnocení.

V celosvětovém měřítku je eroze půdy jedním z nejhorších důsledků špatného využívání přírodních zdrojů. Až dodnes vznikají nevyčíslitelné škody kvůli degradacím půdy. Často je totiž tento jev nenapravitelný. Z necelých 15 milionů km² všech půd je přes 9 milionů km² ohrožených vodní erozí ve stupni plošné eroze, z toho necelé 2 miliony km² jsou již v současnosti vážně degradované. (Sklenička, 2003)

2 CÍLE PRÁCE

V této práci je zhodnocena erozní ohroženost půd v okolí Krásné Hory nad Vltavou. Území v blízkosti Krásné Hory nad Vltavou se vyznačuje značnou výškovou členitostí krajiny. Takové oblasti jsou nejvíce ohroženy erozí, která se projevuje odnosem půd především při silných deštích. Cílem této práce je zhodnotit současnou situaci v povodí Mlýnského potoka a Brziny a navrhnout vhodná opatření pro ochranu půd.

Erozní ohroženost bude zhodnocena pomocí 3 různých metod. První metodou je metoda USLE 2D, která pro výpočet klíčového faktoru LS, poměr sklonu a délky pozemku, používá algoritmy v programu USLE 2D. Další metodou je metoda podle Ing. Mitášové, která vytvořila pro výpočet LS faktoru nový algoritmus. Ten využívá k výpočtu data o míře hromadění se vody a sklonitosti povrchu. Poslední výpočet je metodou podle Ing. Janečka, kdy podle navržených odtokových linií zjistíme erozní ohroženost výpočty provedenými mimo prostředí GIS.

V další části této práce pak budou navržena vhodná protierozní opatření a osevní postup snižující erozní ohroženost.

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

Člověk se učil využívat půdu, dlouhodobě ji udržovat a zlepšovat její vlastnosti již od pradávna. První zemědělci se u nás objevili okolo 6. tisíciletí př.n.l., tedy již v mladší době kamenné (BERANOVÁ, 2010).

První zemědělské pozemky se získávaly spalováním lesních porostů, tzv. žďářením. Kousek lesa se vypálil a díky jeho dlouhodobé existenci bylo v půdě mnoho živin. Na tomto pozemku tedy bylo možné několik let pěstovat opakovaně jednu plodinu. Půda však vydržela toto zatížení pouze po omezenou dobu a poté již plodina nerostla a celé pole bylo zaplevelené jinými rostlinami. Půda vydržela tento stres nejdéle 14 let, a proto se vyvinulo u člověka pravidelné stěhování. Poté, co na starém pozemku již nic nerostlo, odešli na jiné vhodné místo, kde opět spálili les a pěstovali každý rok pouze jeden druh plodiny. Po deseti až čtrnácti letech byli nuceni se opět přestěhovat (BERANOVÁ, 2010).

Poté se však vyvinula nová metoda zemědělského pěstování, dvoupolí. To byla 1. zemědělská revoluce. Klíčem je střídání období pěstování plodin, často monokultur s dlouhodobým úhorem. Tomuto systému pěstování se říká mimo dvoupolí i přílohová soustava. Velké území se rozdělí a na jedné polovině se pěstuje monokultura a druhá polovina leží ladem. V případě zaplevelení pozemku se pak přesouvá pěstba na část pozemku ležící ladem a zaplevelený pozemek se nechává ležet ladem. Tato metoda byla používána od příchodu Slovanů až do konce 12. století (BERANOVÁ, 2010).

Na přelomu 12. a 13. století došlo ke 2. zemědělské revoluci. Díky objevení účinnosti ve střídání plodin byl vyvinut trojpolní systém. V této metodě se mezi sebou střídají jarní a ozimá obilnina spolu s úhorem, jař, ozim a ladem ležící pozemek.

Koncem 15. Století poté byl vynalezen Nortfolský osevní postup, což byla 3. zemědělská revoluce. V tu dobu se totiž do osevního postupu začlenily okopaniny, např. řepa a brambory. Tomuto osevnímu postupu se také přezdívá čtyřhonná soustava (VLASÁK, 2007).

- 1) Okopanina – řepa, brambory
- 2) Jař – pšenice, ječmen, luskoviny

- 3) Pícnina – vojtěška, jetel
- 4) Ozim – pšenice, žito

Od té doby se již neobjevil nový osevní postup pěstování plodin pro zlepšení výnosu zemědělských půd.

3.1 Úvod do eroze

Eroze je přirozený proces rozrušování a transportu částí zemského povrchu. Její příčinou je mechanické působení pohybujících se okolních látek. Jde především o působení proudící vody, větru, sněhu a ledovců. V rámci eroze dochází nejen k uvolňování půdních částic a jejich transportaci, ale také k jejich ukládání, sedimentaci. (JANEČEK, 2012)

Erodologie, jako nauka o erozi půdy, pojednává o příčinách jejího vzniku, následcích a způsobech ochrany proti ní. Za jejího zakladatele je považován americký erodolog H. H. Bennet, který zpracoval dosud nepřekonané dílo “Soil Conservation“ (1939). Erodologie však byla ještě před začátkem minulého století téměř neznámou vědou, výzkum zrychlené eroze a její hrozby je tedy relativní novinkou. Dnes se obecně uznává, že zrychlená eroze půdy je vážným světovým problémem. Odhaduje se, že množství sedimentů odnášených do oceánů vzrostlo z 10 miliard t.rok⁻¹ před zavedením intenzivního zemědělství (pastvy) na 25 až 50 miliard t.rok⁻¹ v současnosti (JANEČEK et al, 2008).

Eroze, při které se odnos půdy rovná její tvorbě zvětráváním, se nazývá erozí vyrovnanou, kompenzační. Vinou člověka se však eroze plošně rozšířila a současně zvýšila - dochází k vyšší ztrátě půdy, než je schopno se na daném místě v daném čase vyvinout přirozenými procesy (ŠARAPATKA, 2014).

Proces zrychlené eroze půdy se objevuje již od doby, kdy člověk začal porušovat přirozený kryt půdy, který byl na většině území tvořen lesními společenstvy. Jedním z časných center civilizace byl “úrodný půlměsíc“, zahrnující území mezi řekami Eufratem a Tigridem v Mezopotámii, v oblasti dnešní Sýrie a Iráku. Dochovaly se písemné zmínky o tom, že velkým problémem bylo nebezpečí zanášení závlahových kanálů (JANEČEK et al, 2008).

Během eroze půdy však nedochází pouze k odtoku půdních částic, ale dochází i k vyplavování živin a minerálů, které jsou důležité pro dobrý růst rostlin.

Prvky potřebné pro růst rostlin se rozdělují na makroprvky a mikroprvky (VANĚK, 2007).

Mezi nejdůležitější makroprvky patří dusík (N), fosfor (P) a draslík (K). Dalšími jsou hořčík (Mg), vápník (Ca), síra (S), draslík (K), uhlík (C), kyslík (O) a vodík (H). Pro správný růst rostlin jsou však důležité i mikroprvky, které sice v rostlinách nejsou tolik zastoupeny, ale jejich nepřítomnost v půdě by znemožnila správný růst rostlin. Mezi mikroprvky patří: měď (Cu), zinek (Zn), železo (Fe), bor (B), chlor (Cl), nikl (Ni), mangan (Mn) a molybden (Mo) (VANĚK et al. 1998).

Přítomnost všech těchto prvků je potřebná a proto je důležité udržovat jejich množství dostačující pro růst rostlin. Z tohoto důvodu je důležité pravidelně přihnojovat. Podle Liebigova zákona minima z roku 1840 je stanoveno, že růst organismů je limitován tím prvkem, kterého je nejméně. Rostlina tedy roste až do chvíle, kdy se kvůli nepřítomnosti jednoho z prvků růst zpomalí, až zastaví (VANĚK, 2007).

Hnojení sice exponenciálně napomáhá úrodnosti půdy, ale i tento nárůst má svou hranici. Po určitém množství prudce klesají přírůstky zvyšování množství vypěstovaných plodin a další přihnojování již není účinné (VANĚK et al. 1998).

U přehnojení pole je však problém, že rostliny nedokážou přijmout tak vysoké množství prvků a ty jsou poté vyplavovány a vymývány. To se nejčastěji stává při přívalových srážkách. Velkým problémem je i to, že při deštích nedochází pouze k povrchovému odtoku, ale voda je i rychle vsakována do půdy. S vodou jdou do půdy i na ní navázané živiny, a může tak dojít až ke kontaminaci podzemních vodních zdrojů (VIEUX, 2004).

3.2 Příčiny eroze

Hlavní faktory podmiňující vznik eroze jsou klimatické poměry, morfologické poměry, vegetační poměry, geologické poměry a způsob využívání krajiny (JANEČEK, 2003).

Morfologické poměry

Morfologické poměry představují podobu krajiny a jejího terénu. Řeší se především sklon terénu, délka svahů a jejich expozice. Samotná podoba krajiny se v rámci dlouhé historie morfologicky mění. Hlavním komponentem těchto proměn

jsou vodní toky, které svým průtokem krajinou vytváří údolí, nivy a průsmyky (HRUBAN, 2007).

Vegetační poměry

Vegetace vysoce zlepšuje ochranu půdy před erozí. Při srážkách jsou dešťové kapky zachycovány vegetací a nedopadají tak přímo na půdu, kde by mohly svou kinetickou energií narušit plochu. Navíc je při dostatečném množství porostu půdní horizont dobře prokořeněn, což jej zpevňuje. Vegetací pokrytá půda velmi dobře jímá vodu, při přívalových deštích tak nedochází k nadměrnému povrchovému odtoku spadlé vody (KARSKÁ, 2014).

Geologické poměry

Geologické poměry jsou dány matečnou horninou, ze které půda na daném místě vznikla. Matečná hornina tyto poměry ovlivňuje jejím jedinečným složením různých minerálů a jejich procentuálním zastoupením. Na povrchu země je hornina vystavena erozním vlivům, které způsobují její zvětrávání. Zvětrávání se děje za vlivu větru, vody, slunečního svitu a dalších dílčích faktorů. Jako důsledek tohoto působení je původně velký pevný geologický prvek rozložen na menší částice. Nahromaděním těchto částic vzniká půda a v průběhu času se půdotvorným procesem, pedogenezí, chemické i fyzické vlastnosti půdy postupně změní a stane se tak obyvatelnou pro živé organismy (BORŮVKA et al, 1998).

Způsob využívání krajiny

Způsob, jakým krajinu využíváme, je u hodnocení erozní ohroženosti zásadní. Pokud používáme území s velmi mírným sklonem jako zemědělský pozemek pro pěstování kukuřice nebo okopanin, může zde docházet k mnohem větší erozi než na svažitém, trvale zatravněném pozemku s vyvinutou kořenovou soustavou (HOLÝ, 1994).

3.3 Důsledky eroze

Důsledkem eroze je postupné odnášení ornice ze zemědělských pozemků. V České republice je vodní erozí potenciálně ohroženo téměř 50 % zemědělské půdy. V současné době je maximální ztráta půdy v ČR vyčíslena na přibližně 21 mil. tun ornice za rok, což lze vyjádřit jako ekonomickou ztrátu minimálně 4,3 mld. Kč (MARADOVÁ, 2013).

Mezi přímé škody vodní eroze na zemědělské půdě patří odnos ornice, přímé poškození rostlin erozí, náklady na asanaci erozních rýh atd.

3.4 Druhy eroze

Eroze půdy má nejrůznější podoby. Následek může být lehce rozpoznatelný ve formě hlubokých rýh nebo strázů, nebo těžko rozpoznatelný při mírnějším působení na velké ploše. Z těchto důvodů je eroze rozdělena podle tří hledisek, podle činitele, intenzity a formy (HOLÝ, 1994).

3.4.1 Podle činitele

Eroze je rozdělena na několik typů podle vnějšího činitele. Každý z činitelů uvolňuje, transportuje a ukládá půdní částice jinak (DOLEŽAL, 2009).

1) Vodní eroze

Vodní eroze je nejčastější způsob eroze. Projevuje se smyvem půdy vlivem unášecí síly vody a jejím ukládáním v nižších částech povodí. Pomocí síly vodního proudu jsou odnášeny malé částice půdy. Čím větší a silnější proud vody je, tím větší částice půdy odnese. Se snižováním síly vodního proudu jsou půdní částice postupně ukládány od největších, jako je např. šterkopísek, až po ty nejmenší, jílovité a prachovité částice. Její příčinou jsou především přívalové deště, stálý nebo kolísavý průtok vody v říčních korytech a tání sněhu. Intenzita vodní eroze záleží především na reliéfu, sklonitosti a délce svahů (SKLENIČKA, 2003).

Kvůli povrchovému odtoku dochází ke smyvu půd a vyplavování živin a humusu. Eroze poškozuje především nejurodnější část zemědělských půd, ornici. V důsledku vodní eroze jsou z ní odplavovány živiny potřebné pro růst rostlin, zvyšuje se šterkovitost a snižuje mocnost půdního profilu. Kvůli zhoršení fyzikálně-chemických vlastností půd je znesnadňován pohyb strojů na zemědělských půdách a způsobuje i ztrátu osiv, sadby a přípravků na ochranu rostlin. Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje, vyvolávají zakalení povrchových vod, zanášejí akumulární prostory nádrží a snižují tak průtočnou kapacitu vodních toků (HILLEL, 2011).

Protierozní opatření proti vodní erozi se rozdělují do 3 skupin

a) Organizační opatření

- Delimitace kultur (změny druhů pozemku z orné půdy na trvalý travní porost)
- Návrh velikosti a tvaru pozemků
- Protierozní oseední postup
- Uplatnění plodin s vysokým protierozním účinkem, vyloučení plodin s nízkým protierozním účinkem
- Směr výsadby ve speciálních kulturách

b) Agrotechnická opatření

- Výsev do ochranné plodiny nebo do strniště
- Protierozní agrotechnologie
- Hrázkování a důlkování povrchu půdy
- Zatravnění nebo krátkodobé porosty v meziřadí
- Mulčování (SKLENIČKA, 2003)

c) Biotechnická opatření

- Protierozní meze
- Protierozní průlehy
- protierozní zasakovací pásy
- protierozní hrázky
- protierozní příkopy (vsakovací, záchytné, odváděcí)
- protierozní nádrže a poldry
- terasy
- sanace drah soustředěného odtoku,
- úprava výmolů a strží
- hrazení bystřin včetně úpravy povodí bystřin (SKLENIČKA, 2003)

2) Větrná eroze

Větrná eroze zpravidla působí plošně, případně v pruzích proudění větru. Hlavními faktory větrné eroze jsou klimatické poměry, půdní poměry a využití krajiny i s vegetačním pokryvem. Nejvíce ohrožené jsou lehké půdy, písčité až hlinitopísčité. Nejméně jsou poté ohroženy těžké půdy, jílovité půdy až jíly (SKLENIČKA, 2003).

Pro výpočet větrné eroze vytvořil pan Čepil rovnici, která zahrnuje i spolupůsobení dalších erozních činitelů:

$$E = I' \cdot K \cdot C' \cdot f(L') \cdot f(V)$$

E – potenciální intenzita větrné eroze [t.ha.rok]

I' - součinitel erodibility

K – součinitel drsnosti půdního povrchu

C' - klimatický součinitel

L' – součinitel délky pozemku [m]

V – součinitel vegetačního pokryvu [t.ha]

Metodikou určení intenzity větrné eroze se zabývali i další vědci. Mezi nejznámější patří Pasák či Schwab. (JANEČEK, 2012)

Věrná eroze se rozděluje na dva typy.

- a) Deflace – odnos půdních částic silou větru
- b) Koraze – obrušování a mechanické poškozování půdního povrchu přenášenými půdními částicemi

Opatření proti větrné erozi se rozděluje na 3 typy jednotlivých opatření:

- a) Organizační opatření
 - Delimitace kultur (druhů pozemků)
 - Ochranné zatravnění nebo zalesnění
 - Návrh velikosti a tvaru pozemku
 - Uplatnění plodin s vysokým protierozním účinkem a vyloučení plodin s nízkým protierozním účinkem
 - Protierozní směr výsadby
- b) Agrotechnická opatření
 - Výsev do ochranné plodiny nebo do strniště
 - Zlepšování struktury půdy
 - Zatravnění nebo krátkodobé porosty v meziřadí
 - Mulčování
- c) Biotechnická a technická opatření
 - Umělé zábrany

- Větrolamy (SKLENIČKA, 2003)

Nejúčinnější jsou ochranné lesní pásy - větrolamy. Páni Jůva, Hrabal a Tlapák (1977) uvádí, že větrolamy chrání půdu proti větrnému odnosu. Zejména se budují v otevřeném rovinném terénu. Jejich účinky spočívají ve zmírnění rychlosti větru v určité vzdálenosti před a za větrolamem, snižování výparu, regulaci teploty a vlhkosti v přízemní vrstvě ovzduší, podporují rovnoměrné ukládání sněhu, jsou zdrojem dřevní hmoty, chrání půdu před odnosem. Podle Hurycha (1984) stromy udržují půdu na svém místě a působí protierozně díky svému mohutnému kořenovému systému. Na protierozních opatřeních se nepodílejí jen stromy, ale i keře. (HURYCH, 1984)

3) Ledovcová eroze

Ledovcová eroze je způsobována pohybem ledovce, který ve svém podloží modifikuje a mění prostor. Eroze se rozděluje na ledovcovou abrazi a ledovcové tříštění (HRUBAN, 2007).

Ledovcová abraze je fyzikální proces broušení, vymílání, drhnutí a drobení podloží ledovce, po kterém se ledovec během svého tání pohybuje. Je to způsobováno pohybem již dříve ulomených částí skalních hornin, které ledovec transportuje (HRUBAN, 2007).

Ledovcové tříštění je mechanický proces, během kterého se horniny rozvolňují vsakováním vody z ledovce do puklin a následovného opětovného zamrzání, které roztrhává horniny (HRUBAN, 2007).

Během svého pohybu ledovec transportují veliké množství materiálu. Naproti vodě je možný přenos i velkých bloků hornin a to nejen ve spodní vrstvě ledovce, která je v kontaktu s půdou, ale i na jeho povrchu díky např. lavinám přinášejícím skalní úlomky. Tento transportovaný materiál, označovaný jako morénový materiál, je během tání ledovce postupně uvolňován (HRUBAN, 2007).

4) Sněhová eroze

Sněhová eroze se značně liší od eroze dešťové např. tím, že kinetická energie, kterou působí sněhové srážky při dopadu na povrch půdy je zcela zanedbatelná. Energie potřebná pro erozi je až důsledkem odtékající vody. V zimě je půda plně nasycena vodou kvůli nižšímu výparu při nízkých teplotách a omezením spotřeby

vody rostlinami. Sněhová eroze je intenzivní kvůli tání sněhu, protože tak často dochází k rychlému odtoku většího množství vody (MARADOVÁ, 2013).

V případě sněhové eroze je tedy výhoda v menší kinetické energii srážek a tak menší mechanické poškozování půdy. Nevýhodou je chybějící vegetační pokryv, půda nasycená vodou a povrchový odtok je mnohem vyšší než při letních srážkách. Tento povrchový odtok má sice mnohem větší transportní kapacitu, ale může erodovat pouze tu část půdního profilu, která už není promrzlá (MARADOVÁ, 2013).

5) Antropogenní eroze

Člověk ovlivňuje erodovatelnost půdy stavbou zpevněných ploch, umístěním technických staveb a suburbanizací krajiny. Během stavby vznikají zpevněné plochy, které zabraňují vsakování vody, což vede k rychlejšímu povrchovému odtoku. Tento intenzifikovaný odtok poté unáší větší množství materiálu a způsobuje vytváření erozního rýhování pozemku (HOLÝ, 1994).

6) Zemní eroze

Při nasycování půdy vodou dochází ke zvyšování hmotnosti. Nejvyšší jímatelnost vody mají v tomto případě jílovité půdy s vyšším obsahem montmorillonitu. Ten dokáže na sebe navázat vodu několikanásobného množství jeho původního objemu. Problémem s těmito jílovitými půdami je však jejich občasná nestálost a některým z nich se proto říká tekuté jíly. Při trvalých deštích tak může dojít k překročení hraničního bodu a dojde k mírnému sesuvu svahu. V tomto případě je nejvíce ohrožena oblast v patách svahů (HOLÝ, 1994).

3.4.2 Podle intenzity

Podle Ing. Janečka se vodní eroze projevuje smyvem půdy vlivem unášecí síly vody a jejím ukládáním v nižších částech povodí. Příčinou vodní eroze jsou tedy nejčastěji přívalové deště, průtok vodních toků ve svých korytech nebo tání sněhu.

Normální eroze

Eroze je v přírodě přirozený proces, při kterém dochází k odnosu půdy. Při normální erozi je však půda odnášena ve stejném množství, v jakém je schopna se znovu zvětváním vytvářet. Této erozi se říká vyrovnaná (JANEČEK, 2008).

Zrychlená eroze

Zrychlená eroze je důsledkem nerespektování zásad protierozní ochrany a rozumného využívání krajiny. V nedávné minulosti došlo ke spojení menších pozemků do větších půdních bloků, které vytvářejí příliš dlouhé odtokové dráhy po spádnici. Pro spojení menších pozemků ve větší celek byly odstraňovány remízky, meze a další prvky rozptýlené zeleně, které přerušovaly vodní odtok po spádnici. Dalšími příčinami zrychlené eroze jsou orba po spádu svahu, zhutňování půdy těžkými stroji, nedostatečné hnojení a pěstování nevhodných plodin na erozí ohrožených místech (širokořádkové plodiny, kukuřice, okopaniny) (SKLENIČKA, 2003).

3.4.3 Podle formy

Vodní eroze se dělí podle formy na 3 stupně:

- a) eroze plošná – půda je erodována v podstatě rovnoměrně po celé ploše pozemku
- b) eroze výmolová – půda je vymílána dešťovým odtokem za vzniku hlubokých brázd, výmolů a strží
- c) eroze proudová – vzniká na území, kde voda soustředěně odtéká povrchovým proudem a vytváří tak vodní koryta (HOLÝ, 1994)

3.5 Výpočetní metodika

Pro podrobnější rozlišení stupně ohroženosti jsou půdy rozděleny do tří skupin podle jejich mocnosti, hloubky. Půdy se tak dělí na půdy mělké, středně hluboké a hluboké. Pro ochranu půd před další degradací bylo vymezeno zákonem maximální přípustné množství erodované půdy pro danou hloubku ornice (VAŠKŮ, 2012).

Hloubka půdy		Přípustná ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]
Půdy mělké	0 - 30 cm	1
Půdy středně hluboké	30 – 60 cm	4
Půdy hluboké	nad 60 cm	4

Tabulka č. 1: Přípustná ztráta půdy podle hloubky půdního horizontu (JANEČEK, 2012)

3.5.1 Rovnice USLE

Analýza území z hlediska erozního smyvu se provádí pomocí výpočtu univerzální rovnice (USLE) podle Wischmeier-Smith ve tvaru:

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1})$$

G = průměrná dlouhodobá ztráta půdy ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$),

R = faktor erozní účinnosti deště,

K = faktor náchylnosti půdy k erozi,

L = faktor délky svahu,

S = faktor sklonu svahu,

C = faktor ochranného vlivu vegetace,

P = faktor vlivu protierozních opatření (WISCHMEIER, SMITH, 1978)

3.5.2 Faktor R

Faktor R vyjadřuje erozní účinnost deště [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$]. Faktor je definován jako součin kinetické energie deště a jeho maximální 30 minutové intenzity. Pro celou Českou republiku byla v minulosti průměrná roční hodnota R faktoru $20 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ na základě dlouhodobého sledování srážek. Tato měření proběhla na 3 stanicích Českého hydrometeorologického ústavu, Praha – Klementinum, Tábor a Bílá Třemešná. Pro určení původní průměrné hodnoty v ČR byly použity deště s úhrny sníženými o 12,5 mm. Po zpracování nových dlouhodobých záznamů z dalších ombrografických stanic bylo možné stanovit přesnější R faktor pro celou Českou republiku. V horských oblastech, kde je zastoupení zemědělsky využívané půdy nízké, je hodnota R faktoru 60 až 120. Pokud tato území vynecháme, tak se průměrná hodnota R faktoru na území České republiky pohybuje v rozmezí 30 až 45. Výjimkou jsou pouze oblasti dešťového stínu a výše zmiňované podhorské oblasti. Z těchto důvodů byla pro výpočty v USLE stanovena nová průměrná hodnota R faktoru, a to $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ (JANEČEK, 2012).

3.5.3 Faktor K

Faktor K vyjadřuje náchylnost půdy k erozi. Jeho hodnota stanovuje odolnost půdy proti účinkům deště a transportu rozrušených částic dále po svahu. Tuto hodnotu lze určit na základě:

- rovnice $100K = 2,75M^{1,14} \cdot 10^{-4} / 12-a/ +3,25/ b-2/ +2,5/ c-3$

M představuje zrnitostní složení půdy; (% práškového písku + prachu) .

(100 - % jílu); práškový písek a prach jsou částice 0,002 – 0,1 mm; jíl jsou částice $\leq 0,002$ mm

a - procentuální zastoupení organické hmoty

b – třída struktury ornice

c – třída propustnosti půdního profilu

- dle nomogramu vytvořeného na základě výše uvedené rovnice
- na základě hlavních půdních jednotek (HPJ) zaznamenaných jako 2. a 3. číslice v kódu BPEJ.

Půdní typ	Procentuální zastoupení v ČR	Rozloha v ČR [km ²]
Černozemě	11,54	5740,8
Hnědozemě	6,48	3220,1
Luvizemě	4,08	2016,9
Rendzina, pararendzina	3,72	1873,3
Regozemě	3,67	1861,5
Kambizemě	23,92	11967,5
Kambizemě dystické, podzoly, kryptopodzoly	7,99	3992,3
Kambizemě, rankery, litozemě	413	2050,1
Silně svažitě půdy	3,76	1892,8
Pseudogleje	17,05	8552,5
Fluvizemě	6,25	3126,8
Černice	1,54	758,6
Gleje	5,87	2918,9

Tabulka č. 2: Rozloha půdních typů v ČR (VUMOP)

Pro určení typu půdy byl vytvořen systém bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ), systém pětimístného kódu určujícího typ půdy a základní charakteristiky prostředí (BORŮVKA et al, 2004).

První číslice určuje klimatický region. Klimatických regionů je v systému BPEJ deset, 0-5 jsou spíše suché a teplé, 6-9 jsou na druhou stranu vlhké a studené. Klimatické regiony se rozdělují na: velmi teplý, suchý; teplý, suchý; teplý, mírně

suchý; mírně teplý, suchý; mírně teplý, mírně vlhký; mírně teplý, značně vlhký; mírně teplý, vlhký; mírně chladný, vlhký; chladný, vlhký (TOLASZ, 2007).

Zařazení území do jednoho z klimatických regionů se hodnotí na základě mnoha kritérií. Mezi rozhodující kritéria patří:

- Suma průměrných denních teplot rovných nebo vyšších než 10°C
- Průměrné roční teploty ve vegetačním období (duben – září)
- Průměrný úhrn srážek a srážek ve vegetačním období (duben – září)
- Pravděpodobnost výskytu suchých vegetačních období v % (duben – září)
- Vláhová jistota ve vegetačním období (duben – září)
- Výpočet hranice sucha ve vegetačním období (duben – září) (bpej.vumop.cz)

Druhá a třetí číslice představuje hlavní půdní jednotku (HPJ), což je syntetická agronomizovaná jednotka charakterizovaná účelovým seskupením genetických půdních typů, subtypů, půdotvorných substrátů, zrnitosti, hloubky půdy, typem a stupněm hydromorfismu a reliéfem území. Hlavní půdní jednotka rozděluje půdy celkem na 78 hlavních půdních jednotek, které se dále spojují ve 13 skupin půd (NOVOTNÝ, 2014).

Čtvrtá číslice je sdruženým kódem pro skeletovitost a hloubku půdy. Skeletovitost představuje hodnocení šterkovitosti a kamenitosti podle jejich obsahu v ornici a podorničí. Určení skeletovitosti se uvádí v objemovém procentuálním zastoupení v půdním vzorku. Šterk představují půdní částice velikosti 4 až 30 mm, zatímco kámen je velikosti 30 až 300 mm. Pokud je půdní částice větší než 300 mm, označuje se za balvan. Hloubka půdy poté charakterizuje mocnost půdního profilu, která je v určité hloubce omezoována skalou nebo silnou skeletovostí (MAŠÁT, 2002).

Pátá číslice je sdruženým kódem pro sklonitost a expozici. Sklonitost se určuje na základě poměru vzdálenosti k převýšení 1 : 1. Sklon terénu je podáván ve stupních nebo v procentech. U převodů mezi těmito jednotkami platí, že 100% = 45°. Sklonitost je určována v terénu pomocí sklonoměru nebo podle výškopisných map stanovením převýšení terénu na určitou vzdálenost. Expozice poté vyjadřuje polohu lokality vůči světovým stranám (MAŠÁT, 2002).

Pro každou hlavní půdní jednotku (HPJ) byla určena hodnota z mnoha měření. V této práci jsou používány hodnoty určené podle Janečka (2008).

3.5.4 Faktory L

Tento faktor v rovnici představuje údaje o délce svahu. Délka svahu se určuje podle vzdálenosti počátečního bodu odtoku až k místu, kde sklonitost terénu poklesne a dochází k sedimentaci, nebo končí v místě, kdy odtok přitéká do vodního toku. Délka svahu se začíná opět počítat při náhlém zvýšení sklonitosti terénu opět stejným ukončením. K sedimentaci dochází ve chvíli, kdy odtokový proud nemá dostatečnou energii k transportu půdních částic (MAŠÁT, 2002).

Faktor L se vypočítá podle následujícího vztahu:

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

l_d je délka svahu [m]

22,13 je délka standardního pozemku

m je exponent zahrnující vliv sklonu svahu

3.5.5 Faktor S

Faktor S je možné vypočítat pomocí dvou rovnic, které se liší podle míry sklonu.

a) $S = 10,8 \sin\alpha + 0,03$ pro sklon $< 9\%$

b) $S = 16,8 \sin\alpha - 0,50$ pro sklon $\geq 9\%$

kde α v rovnici představuje sklon svahu uvedený v radiánech

Pokud je sklon nepřerušovaného svahu proměnlivý, je nutné faktor S upravit na základě vzdálenosti daných úseků od horního okraje spádnice. To se provádí pomocí podílu délky úseků k celkové délce spádnice a faktor S se upraví danými konstantami (JANEČEK, 2008).

3.5.6 Faktor C

Vegetační pokryv chrání povrch půdy před destruktivním působením dešťových kapek a zpomaluje rychlost jejich povrchového odtoku. Vegetace také ovlivňuje půdní vlastnosti, jako jsou propustnost a pórovitost, kořenový systém také mechanicky zpevňuje půdu (JANEČEK, 2012).

Velikost ochranného vlivu vegetace je přímo úměrná pokryvnosti a hustotě vegetace během přívalových dešťů. Dokonalou protierozní ochranu tak představují

jeteloviny a travnaté porosty, naproti tomu širokořádkové plodiny (okopaniny, kukuřice, vinice a sady) nechrání půdu dostatečně (JANEČEK, 2012).

Faktor C vyjadřuje v rovnici USLE vliv vegetačního pokryvu. Jeho číselná hodnota představuje poměr smyvu půdy na pozemku s plodinami ke ztrátě půdy na standardním pozemku, který je udržován jako úhor (JANEČEK, 2008).

Hodnotu faktoru C je možné spočítat na základě osevního postupu provedeného na pozemku za posledních 5-6 let, způsobu agrotechnických prací a období mezi střídáním plodin. Výpočty jsou prováděny na základě 5 časových období agrotechnických prací:

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

Hodnoty C faktoru v jednotlivých pěstebních obdobích upravují procentuálním rozdělením R faktoru v průběhu roku po dnech, dekádách či měsících (JANEČEK, 2012).

Pro správný výpočet faktoru C je tedy nutné zohlednit i možnost zvýšení eroze přívalovými srážkami. Objem a síla srážek se také s roční dobou mění. Podle několikaletých měření bylo zjištěno, že měsíce s nejvíce zastoupenými srážkami jsou duben, květen, červen, červenec, září a říjen. Z těchto měsíců nejvíce srážek spadne v letních měsících, především v červenci (TOLASZ, 2007).

Ovlivnění objemu srážek se do faktoru C přidává kvůli postupnému růstu plodin. Záleží totiž na době, kdy je plodina vysazena. Pokud jde o ozimou obilninu, hustý porost je na polích poměrně brzy. Problémem však je její brzká sklizeň. Pokud však pěstujeme jarní obilninu, dojde k osevu až na jaře. Půda je téměř odhalena až do konce května, kdy rostoucí porost čelí již dva měsíce menším srážkám.

Hodnoty C faktoru se také liší na základě plodiny pěstované na pozemku. Důležitá je však i metoda sázení. Je možné sázet do strniště, tedy nezoraného pole po předchozí plodině. Druhou možností je zorané pole, kdy dojde k provzdušnění půdy, zpřetrhání kořenového systému posledních plodin a vstřebání živin do půdy.

Použitím této metody však exponenciálně vzroste erozní ohrožení pole (JANEČEK, 2008).

3.5.7 Faktor P

Faktor P představuje v rovnici stávající protierozní opatření jako faktor účinnosti na řešeném pozemku. Jestliže na pozemku nejsou opatření jako je hrázkování, přerušované brázdování podél vrstevnic, pásové střídání plodin (okopaniny, pícniny, obiloviny) nebo nejsou-li dodržovány maximální délky pozemku podle sklonu terénu, vyjadřuje se hodnota tohoto faktoru jako 1 (SKLENIČKA, 2003).

3.6 GIS prostředí

Geoinformatické systémy (GIS) jsou prostorné databáze, kde jsou ukládána a zpracovávána data. Díky tomu tyto systémy mohou ukládat a spravovat data a zároveň vytvořit z těchto dat mapové dokumenty. V těchto programech je možné provádět i různé analýzy, vyhodnocování a modelové simulace (TOLLINGEROVÁ, 2006).

Data jsou ukládána v mnoha složkách. Každá složka obsahuje data určující pomocí koordinačního systému přesné umístění všech vstupních dat. Tato data jsou k prvkům přiřazena pomocí atributové tabulky, kde jsou zaznamenány informace, jako jsou polohopis, výškopis, porost, půdní typ a další data, která mohou být využita pro pozdější analýzy (LYON, 2003).

V GIS programech jsou 2 možnosti ukládání dat, ve vektorovém nebo v rastrovém formátu. Vektorový formát zobrazuje uložená data jako jednotlivé objekty, a to jako body, linie nebo plochy (WISE, 2014).

3.6.1 Vektorový formát

Body

Body se zaznamenávají do GIS prostoru souřadnicemi. V případě záznamu do mapy by poté X souřadnice představovaly východní nebo západní šířku a Y souřadnice severní nebo jižní délku. Pro určení polohy jednoho bodu jsou tedy potřeba dvě hodnoty. Problém se záznamem několika hodnot pro jeden bod je

vyřešen přidělením identifikačního čísla ID každému bodu. Každý bod má ve svém úložišti jedinečnou ID hodnotu pro zachování přesnosti dat (WISE, 2014).

Příklad záznamu:

1. 4.5, 2.5
2. 3.5, 7.5
3. 5.7, 2.4

Linie

Linie jsou zaznamenávány podobně jako body. Pod jedním identifikačním číslem je však více bodů. Spojením všech bodů zaznamenaných pod jedním ID se vytváří linie s několika zlomovými místy (WISE, 2014).

Příklad záznamu:

1. 4.5, 2.5, 1.0, 5.5, 7.1, 8.7, 1.5, 2.4, 7.4
2. 1.5, 1.0, 5.3, 4.8

Polygony

U polygonů nastává menší problém s vyřešením uzavření hranice pro vytvoření plochy. Řešením je vytvoření umístění posledního bodu do stejných souřadnic, jako byl bod první (WISE, 2014).

Příklad záznamu:

1. 4.5, 5.0, 6.3, 5.1, 6.7, 8.9, 7.0, 3.2, 4.5, 5.0
2. 2.3, 7.2, 2.4, 8.9, 5.7, 6.5, 2.3, 7.2

Díky tomuto systému jsou data pro body, linie i polygony zaznamenávány stejným způsobem. Každý z prvků má své ID identifikační číslo a pod ním jsou zaznamenány 1 nebo více bodů, u polygonů jsou pak první a poslední body shodné (WISE, 2014).

Pro záznam GPS souřadnic jako jsou východní délka a severní šířka ve stupních [°], minutách ['] a sekundách ["] se celý záznam převádí do desítkové soustavy (WISE, 2014).

Příklad záznamu:

Severní šířka $53^{\circ}23' 00'' = 53,3833$

Západní délka $1^{\circ} 29' 21'' = 1,4891$

3.6.2 Rastrový formát

V rastrové vrstvě je informace zaznamenávána ve formě pixelu. Všechny pixely (buňky) mají stejný tvar a rozměry stran a v GIS je možné nastavit velikost stran tohoto pixelu. Například při znalosti souřadnic dvou diagonálně umístěných rohů jednoho z pixelů můžeme vytvořit rastrovou čtvercovou mřížku, která je disonovaná rozměry pixelů (WISE, 2014).

Při vytváření rastrové vrstvy dochází často k problémům. Kvůli své pravidelnosti a schopnosti nést pouze jednu informaci nemůžeme zachovat na mapě plynulost krajiny. Jezera budou na rastrové mapě vždy hraničit s pevninou ostrými hranami. Tento problém se dá řešit několika způsoby. Mezi nejznámější patří způsob přiřazování pixelu stejnou hodnotu, jaká je v jeho středu. Druhou možností je poté přiřadit pixelu takovou hodnotu, která je na jeho ploše zastoupena nejvíce. Další možnosti nejsou moc využívány (WISE, 2004).

Typy rastru

U rastrových vrstev je možné každému pixelu přiřadit pouze jednu hodnotu, informaci. Podle druhu informace, kterou rastr nese, se rastrové vrstvy rozdělují na:

1. Tematický rastr

Hodnoty v těchto rastroch představují číselný kód. Tematický rastr může zobrazovat svými hodnotami např. druh krajinného pokryvu. Díky tomu můžeme pro lepší vizuální zobrazení přiřadit každé hodnotě barvu (KLIMEŠOVÁ, 2006).

2. Kontinuální rastr

Hodnoty v tomto rastru jsou reálná čísla. V celém rastru může být počet těchto hodnot teoreticky nekonečný. Proto nemůžeme získat seznam těchto hodnot a přidělit každé hodnotě rozdílnou barvu. Data se vizuálně zobrazují rozloženým barevným spektrem mezi dvěma a více barvami (KLIMEŠOVÁ, 2006).

3.7 Vytváření modelových simulací

Důležitými funkcemi GIS jsou simulace fyzikálních, chemických a biologických procesů za pomoci vytvořených modelů. GIS tak může být využit pro vytvoření digitálního modelu terénu pro simulaci odtoku vody (LYON, 2003).

Digitální model terénu je možné vytvořit několika způsoby. Každý ze způsobů čerpá data ze stejného zdroje, výsledek je však v různých formátech.

Výstupné vrstvy a jejich přesnost se dá zkontrolovat použitím kontrolních bodů získaných z jiných měření nebo vypuštěním některých bodů ze zdroje. Tato data uložená do bodové vrstvy se poté porovnají s vytvořenými DMR. Kontrola se provede pomocí výpočtu v Raster calculator pomocí vzorce RMSE – Root Mean Square error. Výstupnou vrstvou jsou hodnoty výškového rozdílu mezi kontrolními body a vytvořeným digitálním modelem reliéfu (ESRI, 2012).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta h_i)^2}$$

Obr. č. 1: Vzorec RMSE, Zdroj: JUNAKOVA, 2014

Tvorba digitálních modelů reliéfu (DMR) je dnes v GIS velmi často používaná. Rozlišení a přesnost DMR však dělá následující výpočty složitými kvůli řadě nedostatečných rozhodnutí. Takovými jsou směr odtoku a řada mírných prohlubní, které zneprůhledňují další výsledky. Dřívějším problémem také bylo, že směr odtoku byl rozhodován pouze do 8 různých směrů. Pan Hutchinson navrhl způsob tvorby DMR z digitalizovaných vrstevnic a to pomocí funkce Spline with drainage enforcement (přihlížení ke směru odtoku vody). Paní Mitášová naproti tomu navrhla tvorbu DMR pomocí Regularized Spline s danými mírami pnutí (tension) a uhlazení povrchu (smoothing). Nově vytvořené algoritmy paní Mitášové také dokážou obejít problematiku směru odtoku do pouhých 8 směrů. Dokážou totiž spočítat směr odtoku v 360° pomocí algoritmu i mezi vektorovými a rastrovými vrstvami (SCHMIDT, 2000).

3.7.1 IDW – Inverse Distance Weighted – Inverzní vzdálenost

Tato metoda předpokládá, že měření zaznamenané blíže k řešenému místu více ovlivňují výsledek. Algoritmus této funkce tedy počítá poměrově vzdálenost

každého zaznamenaného měření a vypočítává vážený průměr ze zdroje dat (ESRI, 2012).

Tato metoda vypočítává průměrnou hodnotu mezi měřeními blízko řešeného místa a tak hodnota nemůže být větší nebo menší než vstupní data. Při výpočtu DMR však nemůžeme získat předpokládanou výšku vrcholu kopce, protože výstupní vrstva pouze počítá průměr mezi vstupními daty (ESRI, 2012).

3.7.2 Spline

Tato metoda vytváří DMR procházející přímo naměřenými body. Pro lepší zpodobnění povrchu však během spojování naměřených bodů musí na některých místech tato metoda navýšit nebo snížit výšku mimo zaznamenané měření. Výpočet vyšších a nižších hodnot, než je ve vstupní vrstvě, se nazývá extrapolace, vytváření průměru mezi vstupními hodnotami je interpolace (ESRI, 2012).

3.7.3 Natural Neighbor

Výpočet se provádí opět na základě váženého průměru. Z bodové vrstvy naměřených hodnot se nejdříve musí vytvořit vrstva tzv. Thiessenových polygonů. Ty se vytváří pospojováním všech navzájem nejbližších bodů a v polovině těchto linií se poté vytvoří kolmice. Tyto kolmice jsou poté hranami Thiessenových polygonů s bodovými záznamy uprostřed nich a vytváří tak novou polygonovou vrstvu (ESRI, 2012).

Tvorba vrstvy Natural Neighbor je založena na velikosti plochy v Thiessenových polygonech, které vstupují do výpočtu. V nové rastrové vrstvě bude mít pixel hodnotu plošně nejvíce zastoupeného polygonu. Tato funkce tedy také zpracovává data jako vážený průměr (ESRI, 2012).

Tato funkce nemůže extrapolovat, tedy přesahovat naměřené hodnoty. To znamená, že při tvorbě DMR nejsou vytvářeny vrcholy kopců nebo prohlubně, které nejsou zaznamenány ve vstupních datech (ESRI, 2012).

3.7.4 TIN – Triangulated Irregular Network

Tato funkce vytváří model terénu na základě sousedících nepravidelných trojúhelníků. Hlavním zdrojem pro vytvoření této analýzy je bodová vrstva

s hodnotou naměřené výšky. Každý z bodů je poté spojen s nejbližšími body, vytvářejíc tak hranu, což následně vytváří trojúhelníkovou plochu (ESRI, 2012).

V této analýze je možné ovlivnit výstupovou vrstvu i dalšími vstupními daty jako jsou vodní toky, vodní plochy, hranice území nebo vodorovné terasy (ESRI, 2012).

3.7.5 Topo to Raster

Tato funkce je navržena pro tvorbu hydrologicky přesnějších modelů terénu z vrstevnic, vodních toků, vodních ploch, singularit a hranic území. Díky zohlednění vodních toků je digitální model přesnější a více podobný realitě. Každá z buněk v tomto rastru má hodnotu nadmořské výšky zaznamenané z dřívějšího měření. Tyto modely se poté používají pro hodnocení erozního ohrožení (ESRI, 2012).

Tato analýza je také jediná interpolační metoda, která dobře a správně zpracovává vrstevnicové vstupy.

3.7.6 Další způsoby získání DMR

Digitální model reliéfu je možné získat i pomocí satelitních měření. To se provádí pomocí vyslání laserového paprsku a podle délky času potřebného k odražení paprsku od povrchu a k jeho navrácení se spočítá nadmořská výška. Tato metoda však může být mírně nepřesná kvůli oblačnosti nebo zakřivení směru paprsku v atmosféře. Přesnost tohoto měření také záleží na počtu měření na danou plochu, tedy velikosti pixelů ve výsledné vrstvě (VIEUX, 2004)

Pokud dojde k měření každých 250m, je výstupný DMR značně nepřesný. Podrobnější záznam měření trvá mnoho let a výstupná vrstva potřebuje k uložení dat veliké datové úložiště (WISE, 2014).

Problémem v tomto případě je tedy rozpor mezi kvalitou a kvantitou. Při řešení velkého území nemůžeme používat příliš podrobný DMR pro jeho nadměrný objem dat. Práce s tak velkým souborem není možná a v případě spuštění výpočetní analýzy by mohlo její zpracovávání trvat až několik dní. Proto je nutné zvážit potřebnou přesnost dat vůči velikosti řešeného území (WISE, 2014).

V České republice je vytvořeno několik digitálních modelů reliéfu. Dnes jsou veřejně přístupné tyto modely:

- 1) ZABAGED – rastrový výškopis rozlišení 10 x 10m vytvořený z vektorových vrstev vrstevnic a terénních hran uložených v databázi ZABAGED,
 - Odchylka výšky: odkrytý terén 0,7 – 1,5m, v sídlech 1 – 2m, zalesněný prostor 2 – 5m
- 2) Digitální model povrchu České republiky 1. generace (DMP 1G) – zobrazení území včetně krajinného pokryvu a staveb ve formě TIN
 - Odchylka výšky: lesy a přírodní pokryv 0,7m, ostatní 0,4m
- 3) Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G) – pravidelná čtvercová síť (raster), rozlišení 5 x 5m, vytváří se z GRID
 - Odchylka výšky: odkrytý povrch 0,3m, zalesněný povrch 1m
- 4) Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) - pravidelná čtvercová síť (raster), rozlišení 5 x 5m, vytváří se z TIN
 - Odchylka výšky: odkrytý terén 0,18m, zalesněný terén 0,3m (ČÚZK, 2015)

V této diplomové práci je pro výpočty v GIS prostředí použit DMR 4G a pro výpočet pomocí odtokových linií podle Janečka byly použity vrstevnice z databáze ZABAGED.

3.8 Výpočetní metody v GIS

Rovnice USLE zvažuje ve faktorech LS erozní ohroženost pouze podle směru odtoku vody bez zohlednění možnosti sedimentace na některých místech. Rovnice byla v podstatě vytvořena pouze pro výpočet ohrožení půdy podle údolnic, konvexního tvaru svahů, ne pro celoplošné zhodnocení území. Z tohoto důvodu je nevhodné používat tuto rovnici na výpočet ohroženosti půdy vodní erozí na celém řešeném území, kde mohou být i konkávní svahy.

Metoda výpočtu eroze pomocí GIS má několik výhod. Nehodnotí se erozní ohroženost pouze nejsklonitějších části pozemku, ale ohroženost celého pozemku. Nevýhodou je, že toto hodnocení používá pro celou plochu metodu výpočtu údolnic (WESTERVELT, 2001).

Při práci s modely musíme být opatrní. Mohou se tam vyskytovat nepřesnosti, které poté mohou být fatálními chybami. Často totiž tvůrce modelu stráví nad jeho

vytvořením mnoho času a usiluje o jeho přesnost, což ho později snadno přesvědčí o jeho správnosti a přesnosti. Uměle vytvořené modely však nikdy nemohou být přesné. James Westervelt ve své knize *Simulation Modeling for Watershed Management* zmiňuje dvě zajímavé citace jiných autorů:

- Všechny modely jsou chybné, některé však mohou být užitečné (George E. P. Box)
- Modely používejte, ale nevěřte jim (Henry Theil)

Modely tedy poskytují lepší představu ohroženosti pozemku vodní erozí, provedené výpočty však mají mnoho nepřesností (WESTERVELT, 2001).

Používání modelů pro zhodnocení reality má 3 důležité problémy:

- a) Čím je model podrobnější, tím dražší je jeho vytvoření. Navíc jeho podoba neodpovídá realitě.
- b) Problémem s použitím modelů je, že se k jejich vytvoření používají fyzikální znalosti pohybu vody zjištěné před více než sto lety. Jsou zde používány 2 vlastnosti vody, které v realitě nikdy neplatí: vodní proud je laminární a vodní hladina je ustálená.
- c) Čím rozsáhlejší je hodnocené území, tím dražší je jeho vytvoření. (WESTERVELT, 2001)

Nejpoužívanější výpočetní metodika pro erozní ohroženost je rovnice USLE (Universal Soil Loss Equation) vytvořená Wischmeierem a Smithem v roce 1978. Tato rovnice se používá pro výpočet odtoku půdy po odtokové linii, údolnici. Díky jejímu celosvětovému užívání byla včleněna do GIS prostředí pro vytváření modelů erozní ohroženosti (WISCHMEIER, 1978).

Většina programů tedy následuje ve stopách Wischmeiera a Smithe a provádí výpočty erozní ohroženosti na základě faktorů sklonitosti, délky svahu, erodovatelnosti půdy, úhrnu srážek, vegetačního pokryvu a protierozních opatření. Metody se většinou liší jen rozdílným způsobem výpočtu LS faktoru (WISE, 2014).

Nově vytvořené metody se často liší způsoby výpočtu faktoru erodovatelnosti nebo přidávají do výpočtů další faktory. Téměř pokaždé je však rozdílný způsob výpočtu faktorů LS, tedy zhodnocení ohrožení půd podle terénu (OLIVEIRA, 2013).

Kvůli původnímu vytvoření USLE rovnice pouze pro hodnocení odtokových křivek však při přesném použití této rovnice na celou plochu pozemku dochází k vytváření chybných údajů (OLIVEIRA, 2013).

Proto byly v minulosti vytvářeny nové programy, aplikace a funkce, které vypočítávají faktor LS odlišným způsobem (WISE, 2014).

V současnosti již byla vytvořena řada různých postupů zhodnocení erozní ohroženosti v GIS prostředí. Vznikly i nové programy, které se zabývají pouze touto problematikou. Příkladem jsou programy TOPAZ a WATEM-SEDEM (OLIVEIRA, 2013).

Zásadní problém v řešení erozní ohroženosti pomocí simulace v GIS je přítomnost prohlubní a rovinatých míst. Z těchto míst totiž podle později probíhající analýzy nemá voda kam odtékat. V případě roviny zde není daný směr odtoku, v případě prohlubně se voda v místě akumuluje. Tento problém poté znepřesňuje výsledky analýzy a udává chybná data (LYON, 2003).

3.8.1 Výpočetní metoda pomocí USLE 2D

Program Usle 2D pro výpočet faktoru LS potřebuje jako vstupní data digitální model reliéfu (DMR) a rastrovou vrstvu zemědělských pozemků ("parcel") jako území k provedení výpočtů. Výpočetní metoda vychází z předpokladu, že hranice těchto ploch jsou překážkami, které přerušují povrchový odtok vody. Přerušením pozemku tak dochází ke konci svahu na daném území a kratší délkou svahu se poté snižuje hodnota faktoru L (KHOSROWPANAH et al, 2007).

Program Usle 2D se však při výpočtu LS faktoru nesoustředí jen na délku odtokové dráhy nebo sklonitost svahu ale hodnotí i velikost plochy, z níž je odtok soustředěn do právě řešeného bodu. Při manuálním výpočtu často dochází k podhodnocování rizika eroze, protože není zvážen vliv konvergence a divergence vodního odtoku. Program Usle 2D pro vyřešení tohoto problému nahrazuje délku odtokové dráhy (faktor L) tzv. zdrojovou plochou (dílčím povodím) rastrového elementu (VAN OOST, GOVERS, 2000).

Program USLE 2D pracuje ve formátu Idrisi, který je však snadno převeditelný na formát vhodný pro ArcGIS. Výpočet erozní ohroženosti se poté

spočítá vynásobením faktorů C, K, R, P a v programu USLE 2D vytvořených faktorů LS (KADLEC, 2006).

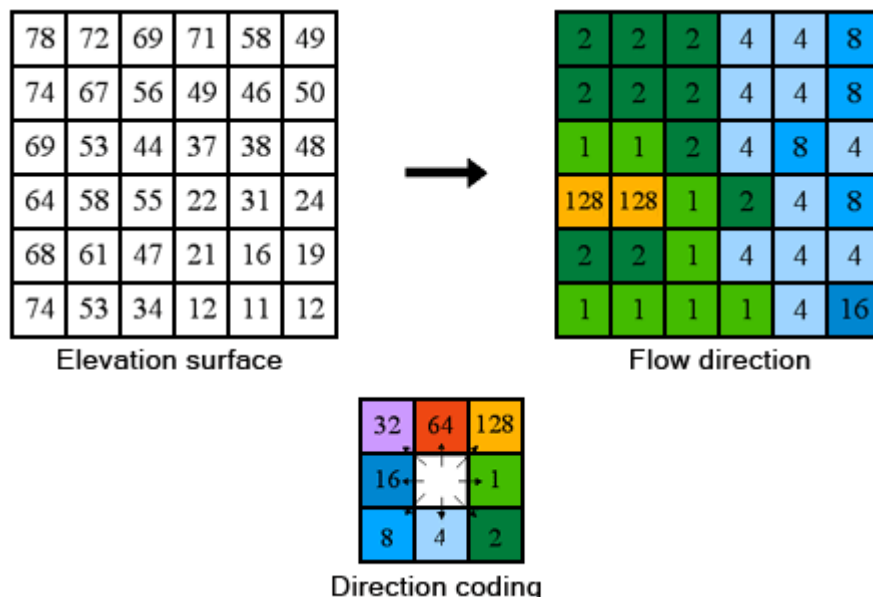
3.8.2 Výpočetní metoda podle Mitášové

Faktory sklonitosti a délky svahu se dá podle Mitášové spočítat i jiným způsobem. Zdrojem pro výpočet všech dat je digitální model reliéfu na řešených pozemcích. Z této vrstvy se nejdříve zhodnotí směr odtoku vody, Flow Direction. Tato vrstva udává směr a množství charakteristiky odtoku. Ze směru odtoku se poté vypočítá akumulace vody, Flow Accumulation. Jako poslední se vytvoří vrstva svažitosti, Slope, pro určení sklonu území (JUNAKOVA, 2014).

Paní Mitášovou vytvořeným algoritmem se poté spočítá na základě údajů akumulace vody a sklonitosti území faktory LS.

Směr odtoku

Směr odtoku vody po povrchu se v ArcGIS spočítá pomocí funkce Flow Direction. Při výpočtu směru odtoku vody funkce zjišťuje směr největšího sklonu terénu a do výsledného rastru jej zaznamenává v podobě čísel přiřazených jednotlivým světovým stranám (tj. S, J, V, Z, SV, SZ, JV, JZ). Názorně je výpočetní metoda ukázána na obrázku č. 2 (ESRI, 2012).



Obr. 2: Metoda výpočtu směru odtoku vody, Zdroj: (ESRI, 2000)

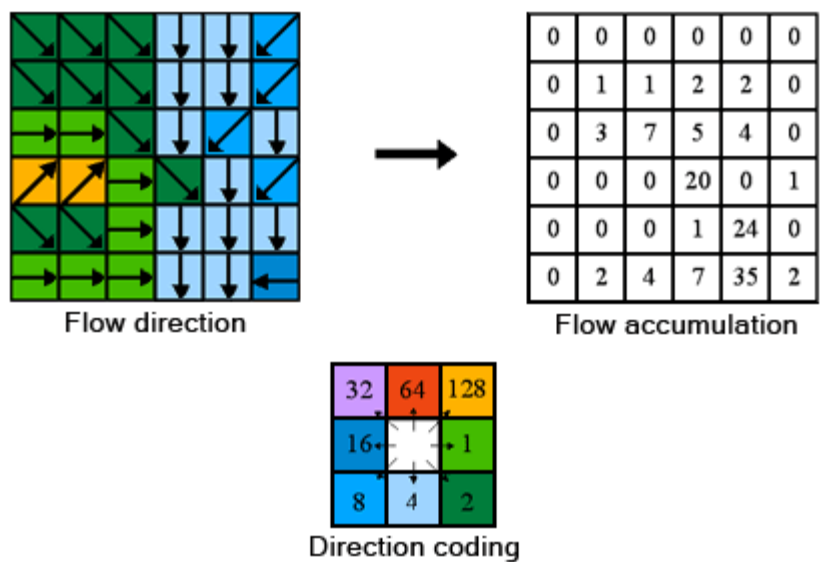
Rozhodnutí směru odtoku vody je prvním krokem k určení hranic povodí. Pro vytvoření hranice povodí se na řešeném území spojí nejvyšší vrcholy. Spojnice mezi vrcholy je vedena kolmo na všechny odtokové linie po sklonitém terénu. Tímto způsobem jsou vytvářeny plochy s jednotným vodním odtokem, povodí (ESRI, 2012).

Povodí je definováno jako oblast, ze které všechna voda proudí do jednoho společného bodu. Daným bodem jsou místa přítoků k dalším vodním tokům nebo až ústí moře (ESRI, 2012).

Akumulace vody

Další analýzou je vytvoření vrstvy akumulace vody, Flow Accumulation, z vrstvy odtoku vody. Tato analýza postupně sčítá plochu, ze které byl veden odtok do řešeného bodu. Výška hodnoty poté udává počet pixelů a tedy rozlohu plochy, ze které byla voda vedena do tohoto bodu na základě dat o směru odtoku vody (ESRI, 2012).

Vrstva z funkce Flow Direction je vstupní vrstva do funkce Flow Accumulation, akumulace vody. Tato funkce hodnotí podle směru odtoku množství vody, které projde danou buňkou. To se počítá od okraje povodí, hřbetnice. Zde, na nejvyšším místě, totiž dochází pouze k odtoku, voda tudy neprotéká ani nepřitéká a tak je první hodnota 0. Podle směru toku se určí, kam voda z předchozí buňky poteče. Nižší umístěným buňkám se přiřazují součty hodnot vtékajících buněk. K součtům hodnot se přičte ještě hodnota 1 za každou buňku, která měla směr odtoku do analyzované buňky. Tímto způsobem získáme v nižších částech povodí počet buněk, z jejichž plochy voda odtékala až do nejnižšího bodu v povodí (ESRI, 2012).



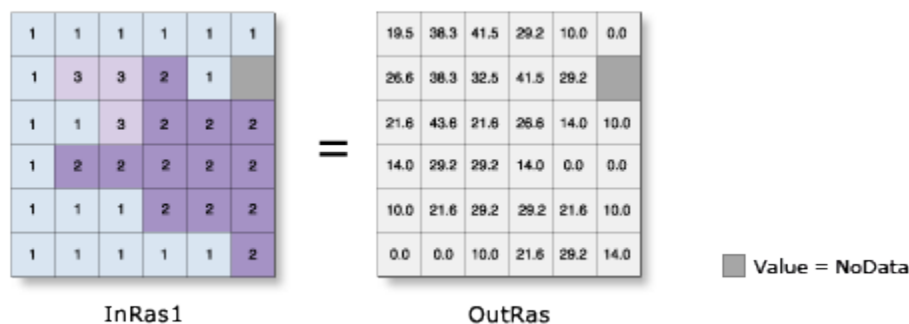
Obr. 3: Metoda výpočtu akumulace vody, Zdroj: (ESRI, 2000)

Sklonitost

Poslední analýzou potřebnou pro výpočet LS faktoru podle Mitášové je sklonitost ve stupních, Slope. Tento výpočet se provede z vrstvy DMR (MITÁŠOVÁ, 1998).

GIS programy používají pro určení sklonu výpočetní metodu nazvanou *Deterministic-8 (D-8)*, která počítá sklonitost pro každou buňku. Výpočetní metoda probíhá vyhodnocováním hodnot nejbližších okolních buněk, to je v mřížce 3 x 3 buňky. Hodnoty buněk, sousedící s vyhodnocovanou buňkou celou hranou, se při výpočtu zohledňují dvojnásobně oproti buňkám sousedícím pouze rohem (PELTON, 2014).

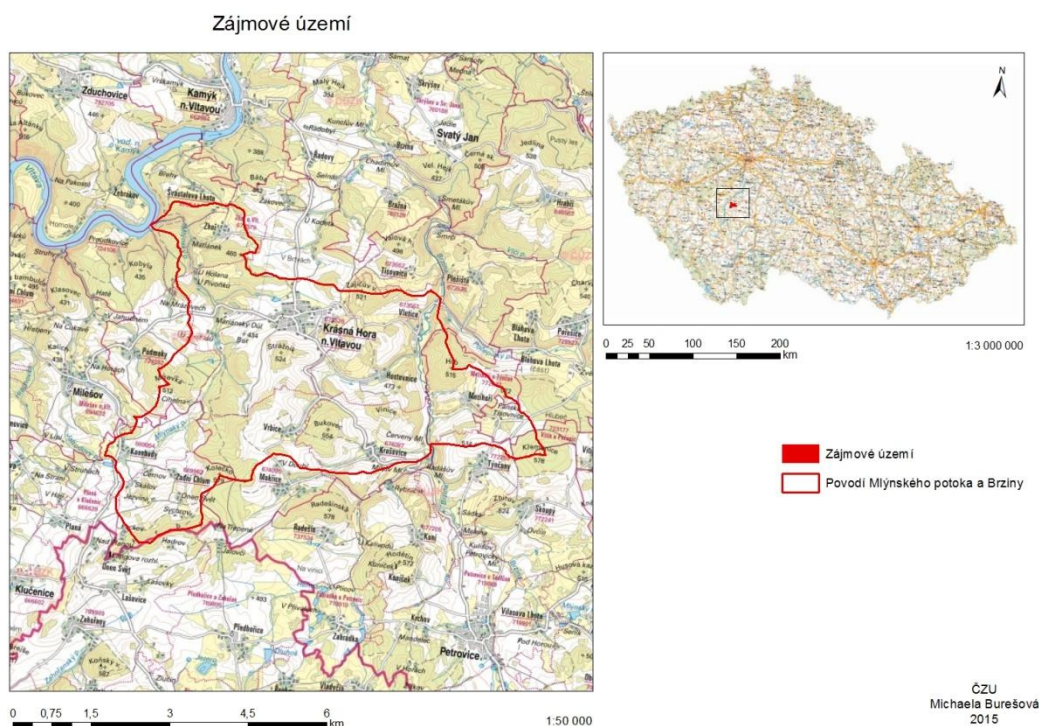
Obrázek č. 4 znázorňuje způsob výpočtu sklonu.



Obr. č. 4: Metoda výpočtu sklonitosti (ESRI, 2000)

4 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

V zájmovém území jsou tyto katastrální území: Kosobudy 669954, Krásná Hora nad Vltavou 673528, Krašovice 674087, Mezihoří u Týnčan 772232, Milešov nad Vltavou 694622, Mokřice 674095, Planá u Klučenic 666629, Plešišťe 673536, Podmoky 724092, Pořešice 725927, Radešín 737534, Švastalova Lhota 673544, Tisovnice 673552, Týnčany 772259, Vletice 673561, Zadní Chlum 669962, Záhořany 789909 a Zhoř nad Vltavou 673579.



Obr. č. 5: Grafické znázornění zájmového území v rámci České republiky, Zdroj: ČÚZK, DIBAVOD

4.1 Morfologické poměry

Reliéf v tomto území je velmi kopcovitý a jeho vrcholy jsou zalesněné. Problémem jsou však dlouhé pozemky na mírně sklonitých táhlých svazích. Na koncích prudkých svahů jsou vytvořené travnaté pásy se vzrostlou zelení, za nimiž jsou vytvořené zatravněné příkopy. U mírně sklonitých až rovinných svahů příkopy nejsou, problém s přetékající vodou je však řešen zatravněným pásem a liniovou zelení často s keřovitým patrem.

Kvůli velké geomorfologické členitosti a sklonitosti svahů v celém území je erozi ohrožena poměrně velká část zemědělsky využívaných pozemků. První

známky plošné eroze je možné vidět z protilehlých svahů, mírná rýhová eroze je na sklonitých územích či na místech soustředěného odtoku, která je viditelná také z ortofotografických map.

V současnosti je půdní erozí ohrožena zhruba polovina řešeného území. V povodí Mlýnského potoka je ohrožena erozí pouze třetina celkové plochy zemědělsky využívaných pozemků. To je především díky vysoké zatravněnosti v severní části povodí z důvodu vysoké sklonitosti území.

V povodí řeky Brziny je ohrožena zhruba polovina zemědělsky využívaných pozemků. Celá oblast má sice mírnější sklonitost svahů, nevýhodou je však jejich délka.

4.2 Geomorfologické zařazení území

Povodí Mlýnského potoka a Brziny patří do těchto geomorfologických jednotek:

Systém:	Hercynský	
Provincie:	Česká Vysočina	
Subprovincie:	Českomoravská soustava	
Oblasti:	Středočeská pahorkatina	
Celky:	Benešovská pahorkatina	
Podcelky:	Březnická pahorkatina	
Okrsky:	Klučenická pahorkatina	Krásnohorská pahorkatina

Tabulka č. 3: Geomorfologické zařazení území (mapy.nature.cz)

4.3 Typologie krajiny

V zájmovém území je typologie krajiny podle reliéfu, osídlení a využití těchto jednotek:

Krajinný reliéf:	Krajiny vrchovin Hercynica, Krajiny zaříznutých údolí, Krasové krajiny
Krajinné osídlení:	Krajina vrcholně středověké kolonizace Hercynica, Krajiny pozdní středověké kolonizace
Krajinné využití:	Lesozemědělské krajiny

Tabulka č. 4: Typologie krajiny (geoportal.gov.cz)

4.4 Klimatické poměry

V zájmovém území jsou 2 různé klimatické regiony:

Klimatický region	Charakteristika regionu	Průměrná roční teplota [°C]	Průměrný úhrn srážek [mm]	Pravděpodobnost suchých vegetačních období [%]	Vláhová jistota ve vegetačním období
5	Mírně teplý, mírně vlhký	7 - 8	550 - 650	15 - 30	4 - 10
7	Mírně teplý, vlhký	6 - 7	650 - 750	5 - 15	>10

Tabulka č. 5: Klimatické poměry na zájmovém území (bpej.vomuop.cz)

4.5 Hydrologické poměry

Povodí Mlýnského potoka (číslo hydrologického pořadí 1-08-05-018) a povodí Brziny (číslo hydrologického pořadí 1-08-05-30) se nachází ve Středočeském kraji v okrese Příbram. Rozloha těchto dvou povodí je celkem 25,32 ha (dibavod.cz).

Mlýnský potok dosahuje délky 7,33 km. Rozloha povodí je 14,00 ha.

Brzina dosahuje délky 3,44 km. Rozloha povodí je 11,32 ha.

4.6 Půdní poměry

Na řešeném území se vyskytují převážně půdní typy luvizemě, rendziny a pararendziny, kambizemě, rankery, pseudogleje a hydromorfní půdy (VAŠKŮ, 2012).

1) Luvizemě

- 15 – Illimerizované půdy, hnědozemě ilimerizované a hnědé půdy a h.p. illimerizované na polygenetických hlínách se sprašovou příměsí, středně těžké s příznivým vodním režimem

2) Rendziny a pararendziny

- 18 – Rendziny a rendziny hnědé na vápencích, středně těžké, šterkovité až amonité, s malou vododržností

3) Kambizemě

- 26 - Hnědé půdy a hnědé půdy kyselé a jejich slabě oglejené variety na opukách a tvrdých slínovcích, zpravidla středně těžké, šterkovité, a dobrými vláhovými poměry

- 29 – Hnědé půdy, hnědé půdy kyselé a jejich slabě oglejené variety na permokarbonských horninách a pískovcích, lehčí až středně těžké, většinou s dobrými vláhovými poměry
- 32 – Hnědé půdy a hnědé půdy kyselé na žulách, rulách, svorech a výlevných kyselých horninách, většinou slabě až středně štěrkovité, s vyšším obsahem hrubšího písku, značně vodopropustné, vláhové poměr závislé na atmosférických srážkách

4) Rankery

- 37 – Mělké hnědé půdy na všech horninách, lehké, v ornici většinou středně štěrkovité až kamenité, v hloubce 0,3m silně kamenité nebo pevná hornina, výsušné
- 38 – Mělké hnědé půdy na všech horninách, středně těžké až těžší, v ornici většinou středně štěrkovité až kamenité, v hloubce 0,3m silně kamenité nebo pevná hornina, méně výsušné
- 39 – Nevyvinuté půdy na všech horninách, s velmi mělkým humusovým horizontem (do 0,1m) na málo zvětralé skále, většinou výsušné (kromě vlhkých klimatických regionů)

5) Velmi sklonité půdy

- 40 – Svažité půdy (nad 12‰ nebo 21,26%) na všech horninách, lehké až lehčí středně těžké, s různou štěrkovitostí a kamenitostí nebo bez nich, vláhové poměry jsou závislé na srážkách
- 41 – Svažité půdy (nad 12‰ nebo 21,26%) na všech horninách, středně těžké až těžké, s různou štěrkovitostí a kamenitostí nebo bez nich, vláhové poměry jsou závislé na srážkách

6) Pseudogleje

- 46 – Hnědozemě illimerizované oglejené a illimerizované půdy oglejené na polygenetických hlínách se sprašovou příměsí, středně těžké, až středně štěrkovité nebo slabě kamenité, náchylné k dočasnému zamokření
- 47 – Oglejené půdy na polygenetických hlínách se sprašovou příměsí, středně těžké, až středně štěrkovité nebo slabě kamenité, náchylné k dočasnému zamokření
- 48 – Hnědé půdy oglejené, rendziny oglejené a oglejené půdy na různých břidlicích, lupcích a siltovcích, lehčí až středně těžké, až středně štěrkovité či kamenité, náchylné k dočasnému zamokření

- 49 – Hnědé půdy oglejené a rendziny oglejené na břidlicích a usazeninách karpatského flyše, těžké až velmi těžké, bez šterku až slabě šterkovité, sklon k dočasnému zamokření
- 50 – Hnědé půdy oglejené a oglejené půdy na různých horninách (ruly, žuly), s výjimkou hornin HPJ 48 a 49, zpravidla středně těžké, slabě až středně šterkovité a kamenité, dočasně zamokřené

7) Hydromorfí půdy

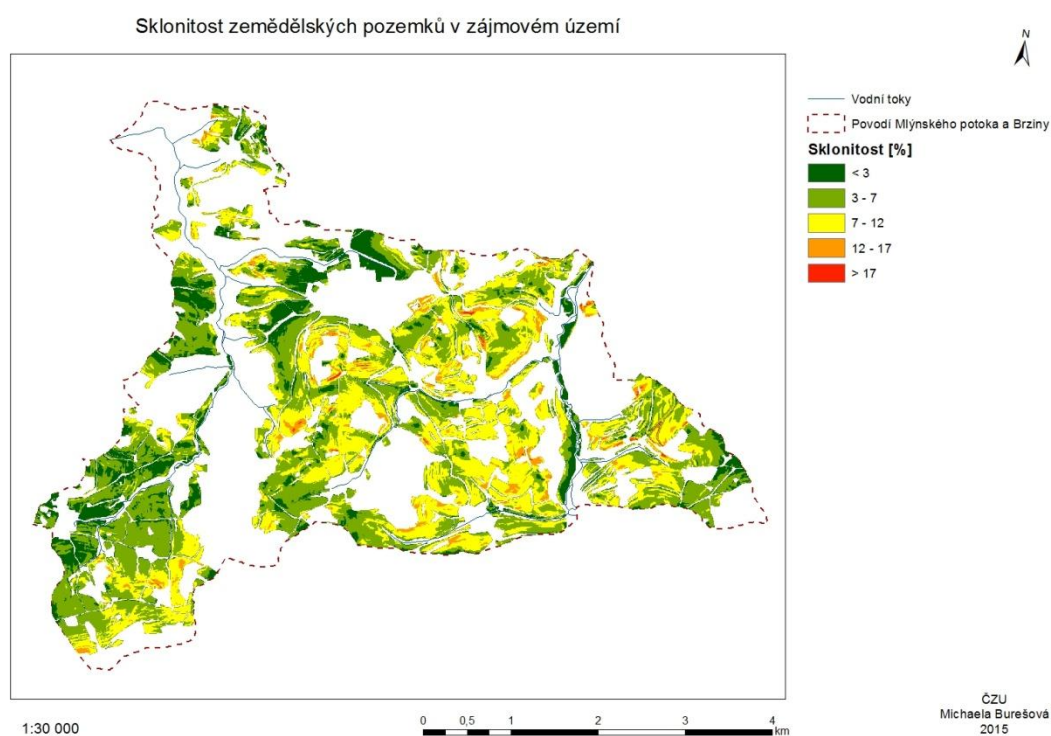
- 64 – Glejové půdy a oglejené půdy zbažiné, avšak zkulturněné, na různých zeminách a horninách, středně těžké až velmi těžké, příznivé pro travní porosty a odvodnění i pro ornou půdu
- 65 – Glejové půdy zrašelinělé a rašelinistní a rašelinné půdy na různých substrátech, velmi lehké až těžké zamokřené, pro odvodnění stanoviště příznivé pro louky
- 66 – Oglejené půdy zbažiné a stagnoleje rovinatých poloh, zpravidla těžšího rázu, zamokřená stanoviště
- 67 – Glejové půdy mělkých údolí a rovinatých celků při vodních tocích, středně těžké až velmi těžké, zamokřené
- 68 – Glejové půdy a g. p. zrašelinělé úzkých údolí, včetně svahů, obvykle lemující malé vodní toky, středně těžké až velmi těžké, zamokřené
- 69 – Hydrogleje, glejové půdy zrašelinělé, a g. p. rašelinistní, středně těžké, výrazně zamokřené
- 72 – Glejové půdy zrašelinělé a rašelinistní půdy nivních poloh s hladinou podzemní vody trvale blízko povrchu, trvale zamokřené
- 73 – Oglejené půdy zbažiné a glejové půdy svahových poloh, středně těžké až velmi těžké, zamokřené, s výskytem svahových pramenišť

Sklonitost území

Sklonitost v zájmovém území je poměrně různorodá, nejzastoupenější sklonitost na zemědělsky využívaných pozemcích je však mezi 7 až 15 %.

Sklon	Rozloha [ha]	Procentuální zastoupení
0 - 3	201,17	15,60
3 - 7	595,90	46,22
7 - 12	435,44	33,77
12 - 17	52,36	4,06
> 17	4,47	0,35

Tabulka č. 6: Zastoupení různě sklonitých ploch na zájmovém území, Zdroj: vlastní



Obr. č. 6: Grafické znázornění sklonitosti území, Zdroj: vlastní

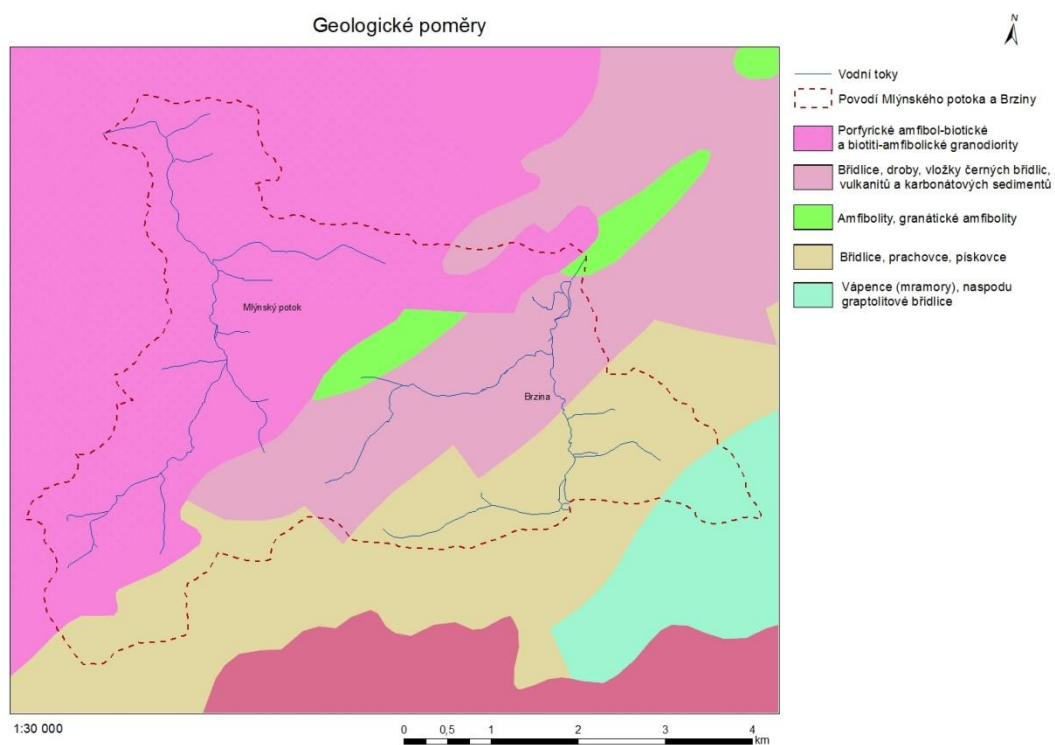
Hloubka a skeletovitost půdy

Mělkých půd je na řešeném území zhruba 206,69 ha, což je asi 8,16% z celkové rozlohy řešeného území. Na zemědělských pozemcích dosahuje rozloha mělkých půd 0,40 ha, z čehož je 0,26 ha již zatravněno.

Skeletovitost půd v zájmové území na zemědělsky využívaných pozemcích převládá středně skeletovité půdy. Celková výměra středně skeletovitých půd na zemědělských pozemcích je 901 ha.

4.7 Geologické poměry

V zájmovém území jsou z geologického hlediska nejvíce zastoupeny porfyrické amfibol-biotické a biotiti-amfibolické granodiority. Na větší části území jsou břidlice, prachovce, pískovce, droby a vložky černých břidlic vulkanitů a karbonátových sedimentů. Amfibolity a granatické amfibolity jsou na velmi malé části území.



Obr. č. 7: Geologická mapa zájmového území, Zdroj: Česká geologická služba

5 METODIKA

Výpočet celkové ztráty půd je počítána třemi různými metodami, podle Mitášové (1998), metodou USLE 2D a manuálním výpočtem odtokovými liniemi.

Ve výpočtech podle Mitášové bude, mimo vytvořených funkcí v ArcGIS použita i řada algoritmů pro výpočet některých faktorů.

Další způsob výpočtů je pomocí programu Usle2D. V této metodě dochází k výpočtu některých faktorů mimo program ArcGIS 10.2.

Poslední metodou je manuální podle metodiky Janečka (2008), který bude sloužit jako kontrola výpočtů z GIS prostředí. Výpočet bude prováděn pomocí rovnice USLE, kterou v roce 1978 odvodili Wischmeier a Smith.

Zdroje datových podkladů:

Popis	Typ dat	Zdroj
Ortofotomapa	rastrový	ČÚZK (WMS)
Vodní Toky	vektorový	DIBAVOD
Vodní plochy	vektorový	DIBAVOD
Povodí IV. řádu	vektorový	DIBAVOD
BPEJ	vektorový	VÚMOP
Půdní bloky	vektorový	LPIS
Vrstva pozemků	vektorový	Vlastní
Digitální model reliéfu (DMR)	rastrový	4G model terénu
Vrstevnice		ZABAGED
Sklonitost	rastrový	Vlastní (vstup DMR)
Směry odtoků	rastrový	Vlastní (vstup DMR)
Akumulace odtoků	rastrový	Vlastní (vstup DMR)

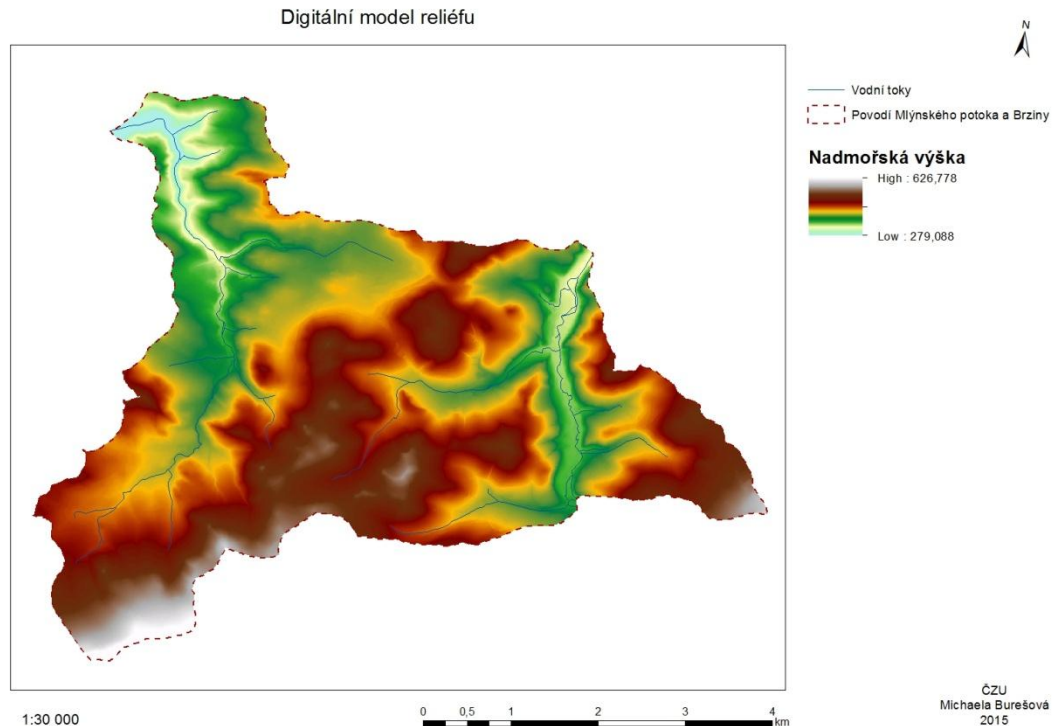
Tabulka č. 7: Přehled zdrojů podkladových vrstev pro výpočty v GIS

5.1 Výpočetní metoda faktoru LS podle Mitášové

Pro vypočtení LS faktoru metodou podle Mitášové musíme vytvořit několik rastrových vrstev, které poté vložíme do jí vytvořeného algoritmu:

$$\text{Pow}([\text{Fl_acc_bloky}] * 5 * / 22.1, 0.4[\text{m}]) * \text{Pow}(\text{Sin}([\text{Slope_bloky}] * 0.01745) / 0.09, 1.2[\text{n}])$$

- Fl_acc_bloky - vrstva akumulace odtoku
 - Slope_bloky - vrstva svažitosti
 - 5 - velikost buňky[m] (rozlišení)
 - [m] a [n] - parametry vzorce
 - 22,1 - délka standardního pozemku [m]
 - 0,09 - sklon standardního pozemku [-]
 - 0,01745 - převodní konstanta z [°] na [-] (JUNAKOVA, 2014)
1. Nejdříve si nahrajeme do programu ArcGIS digitální model reliéfu *DMR4G* a vrstvu zemědělských pozemků *LPIS*. Tyto 2 vrstvy jsou základem pro následné analýzy.
 2. V dalším kroku provedeme funkci *Arc toolbox* → *Spatial analyst tools* – >*Extraction* -> *Extract by Mask*. Díky tomu bude ve výpočtech zohledněný přerušovaný stav svahů jako jednotlivých pozemků, polních cest, mezi a příkopů mezi nimi.
 - Vstupní vrstvy: *DMR4G*, *LPIS*
 - Výstupní vrstva: *DMR*



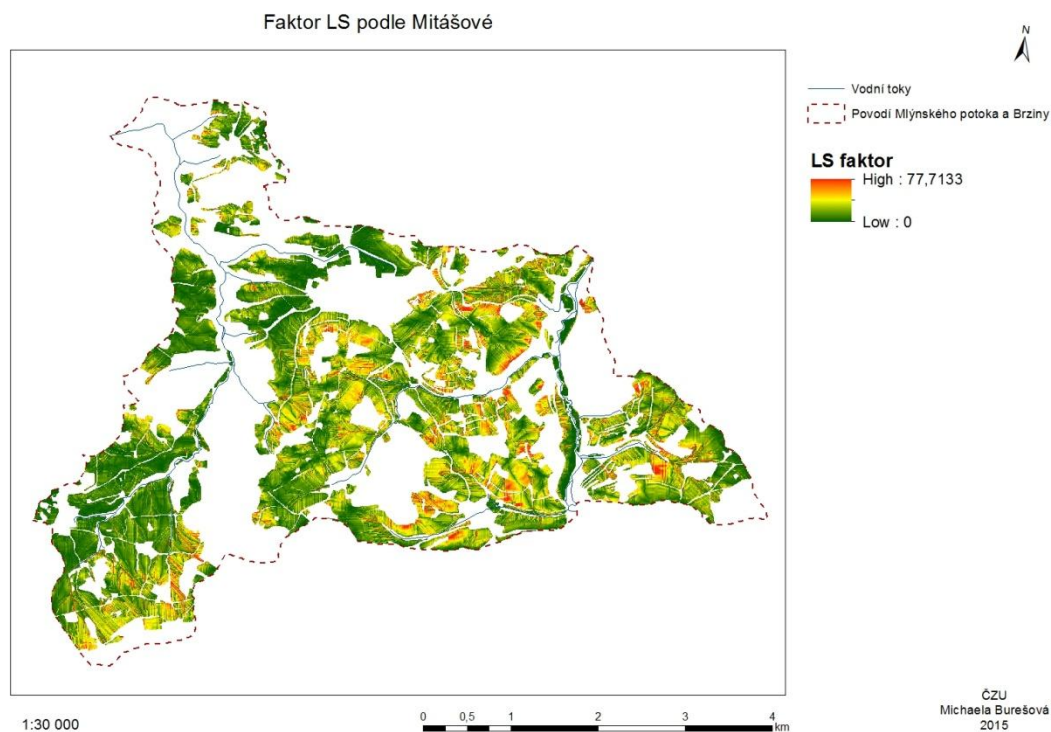
Obr. č. 8: Grafické znázornění digitálního modelu reliéfu v zájmovém území, Zdroj: vlastní

3. V dalším kroku vytvoříme vrstvu směru odtoku vody. Vrstvu vytvoříme funkcí *Arc toolbox* → *Spatial analyst tools* → *Hydrology* → *Flow direction*.
 - Vstupní vrstva: *DMR*
 - Výstupní vrstva: *Flow_Dir*
4. V dalším kroku vytvoříme vrstvu akumulace vody. Vrstvu vytvoříme funkcí *Arc toolbox* → *Spatial analyst tools* → *Hydrology* → *Flow accumulation*.
 - Vstupní vrstva: *Flow_Dir*
 - Výstupní vrstva: *Flow_Acc*
5. V dalším kroku vytvoříme vrstvu sklonitosti ve stupních [°]. To uděláme pomocí funkce *Arc toolbox* → *Spatial analyst tools* → *Surface* → *Slope*.
 - Vstupní vrstva: *DMR*
 - Výstupní vrstva: *Slope*
6. Nyní máme vytvořené všechny potřebné vrstvy pro výpočet LS faktoru pomocí algoritmu. Najdeme si funkci *Raster Calculator* a zadáme do ní následující vzorec:

$$\text{Power}(\text{"Flow_Acm"} * 5 / 22,13, 0,4) * \text{Power}(\text{Sin}(\text{"Slope"} * 0,01745) / 0,09, 1,4) * 1,4$$

- Vstupní vrstvy: *Flow_acc*, *Slope*
- Výstupní vrstva: *LS_Mitas*

Výstupní vrstva *LS_Mitas* je graficky znázorněna na obrázku č. 9.



Obr. č. 9: Grafické znázornění výstupné vrstvy LS podle Mitášové, Zdroj: vlastní

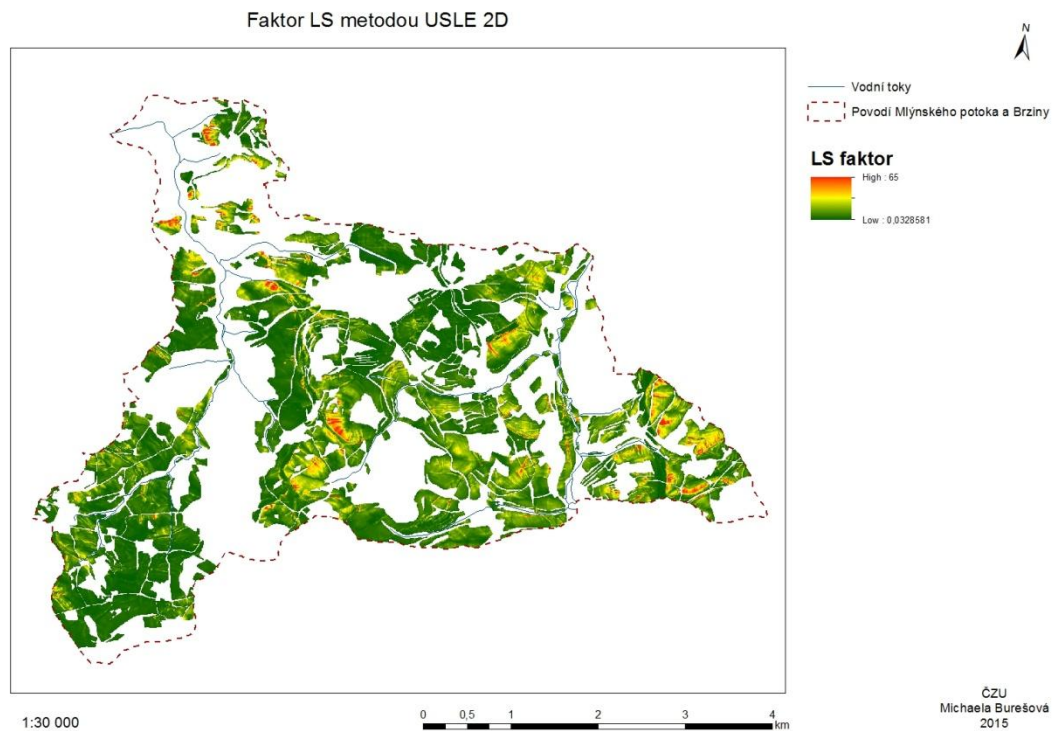
5.2 Výpočetní metoda faktoru LS podle USLE 2D

Tato metoda je až na výpočet LS faktorů stejná jako metoda podle Mitášové. Pro vytvoření faktoru LS v metodě USLE 2D potřebujeme získat vrstvu digitálního modelu reliéfu a plochu zemědělsky využívaných pozemků. Jako zdroj pro digitální model reliéfu využijeme vrstvu *DMR4G*. Jako zemědělsky využívané pozemky použijeme vrstvu *LPIS*.

1. Vrstvu *DMR4G* převedeme do formátu kompatibilního s programem *Usle2D*. To provedeme pomocí funkce *Arc Toolbox -> Conversion Tool -> From Raster -> Raster to ASCII*. Vrstvu uložíme jako *DMR.txt*
2. Vektorovou vrstvu *LPIS* převedeme do rastrové vrstvy funkcí *Arc Toolbox -> Conversion Tool -> To Raster -> Polygon to Raster*. Jako hodnotu pro rastrovou vrstvu vybereme sloupec *KULTURA*, kde jsou rozlišeny pozemky na ornou půdu (2) a trvalý travní porost (7). Velikost buněk nastavíme na velikost 5 x 5m. Vrstvu uložíme jako *LPIS*.

3. Pro výpočet v programu Usle2D potřebujeme jednoduše definovanou plochu zemědělských pozemků. Proto převedeme současné hodnoty v rastru, udávající trvalý travní porost a ornou půdu do jedné společné hodnoty. To provedeme ve funkci *ArcToolbox* -> *Spatial Analyst* -> *Reclass* -> *Reclassify*. Ve výstupné vrstvě bude hodnota 1 představovat zemědělské pozemky, hodnota 0 bude na zbytkové ploše území. Vrstvu pojmenujeme *parcel*.
4. Rastrovou vrstvu *parcel* převedeme do formátu kompatibilního pro výpočet v programu Usle2D. To uděláme pomocí funkce *Arc Toolbox* -> *Conversion Tool* -> *From Raster* -> *Raster to ASCII*. Vrstvu uložíme jako *parcel.txt*.
5. Zapneme si program LS converter a pomocí něj převedeme formáty ASCII na formát IDRISI. To provedeme podle následujících kroků:
 - A. Kliknutím na ikonu DEM (*.asc ->*.rst) a vybereme vrstvu DMR a následně zadáme jméno a místo uložení.
 - B. Klikneme na ikonu Parcel (*.asc ->*.rst) a vybereme vrstvu zemědělských pozemků.
6. Zapneme program Usle2D, ve kterém provedeme výpočet faktoru LS. Způsob výpočtu a daných parametrů provedeme podle metodiky zmíněné v DOLEŽAL et al. 2009:
 - Routing Algorithm: Flux Decomposition
 - Algorithm: McCool (1987, 1989), moderate (rill = interim)
7. Pro samotné spuštění výpočtu klikneme v programu Usle2D na ikonu LS. Po spuštění výpočtů dojde k načtení dat o digitálním modelu reliéfu a parcelaci zemědělských pozemků.
 - Jako první vrstvu pro vstup digitálního modelu reliéfu vybereme *DMR4G*
 - Pro vrstvu určení výpočetních ploch, zemědělských pozemků, vybereme vrstvu *OP_usle*
 - Výstupní vrstvu uložíme jako *LS_usle*
8. Vytvořenou vrstvu *LS_usle* nyní převedeme do formátu kompatibilního s programem ArcGIS 10.2 pomocí LS Converter. Klikneme na ikonu LS factor (*.rst -> *.asc) a převedeme vrstvu *LS_usle* do formátu ASCII, vrstvu pojmenujeme *LS_usle*.

9. Převedeme vrstvu *LS_usle* pomocí funkce *ASCII to Raster* do rastrové vrstvy *LS_usle*. Tato vrstva má v místech zemědělských pozemků spočítanou hodnotu LS faktoru, pro ostatní plochu nese rastr hodnotu 0.
10. Pro lepší přehlednost vytvoříme vrstvu s daty pouze pro plochu zemědělských pozemků. Zapneme funkci *ArcToolbox – Spatial analyst – Extraction – Extract by Mask* a jako vstupní vrstvy použijeme nově vytvořenou vrstvu *LS_usle*, kterou ořízneme vektorovou vrstvou *LPIS*. Výstupní vrstvu, kterou pojmenujeme *LSuslePoz*, je znázorněna na obrázku č. 10.
 - Vstupní vrstvy: *LS_usle*, *LPIS*
 - Výstupní vrstva: *LSuslePoz*



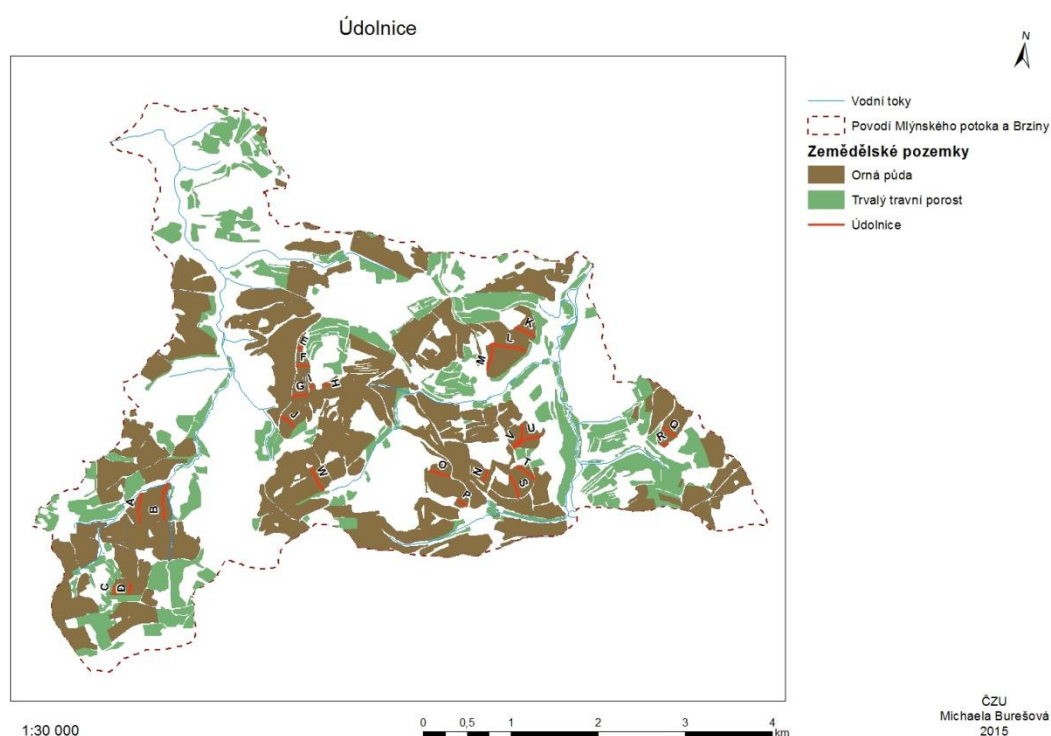
Obr. č. 10: Grafické znázornění vrstvy faktoru LS získané výpočtem metodou USLE 2D,
Zdroj: vlastní

5.3 Výpočetní metoda faktoru LS podle odtokových linií

Pro zjištění přesnosti výpočtů v prostředí GIS porovnáme výsledek s metodou reprezentativních odtokových linií. Návrh odtokové linie (dále jen údolnice) vždy začíná od rozvodnice nebo od místa přerušení povrchového odtoku překážkou či příkopem.

Pro posouzení výsledků byly vybrány některé z více ohrožených zemědělských pozemků. Na nich poté byly vytvořeny údolnice podle Janečkovy metodiky (2008) a prováděny další výpočty. Údolnice byly vytvářeny v prostředí GIS pomocí vrstev prezentujících vrstevnice, *VrstevniceZesilena* a *VrstevniceHlavni*.

Pro získání dat potřebných pro výpočet pomocí údolnic vytvoříme novou liniovou vrstvu a pojmenujeme ji *LS_udolnice*. Na nejohroženějších pozemcích vytvoříme údolnice. Do vytvořené vrstvy přidáme sloupce na informace pro další výpočty: číslo pozemku a kód údolnice (písmeno). Pro další výpočty uděláme dvě kopie této vrstvy, jednu pojmenujeme *K_udolnice* a druhou *Zatr_udolnice*.



Obr. č. 11: Grafické znázornění rozmístění údolnic na nejohroženějších pozemcích, Zdroj: vlastní

1. Výpočet faktoru S

Pro manuální výpočet S faktoru rozdělíme načrtnuté údolnice podle rozdílné sklonitosti podle Janečka (2008). Rozdělení provedeme při editaci vrstvy *LS_udolnice* pomocí nástroje *Split tool* v liště *Editor*. Do vrstvy před samotnou editací přidáme nové sloupce pro další záznam informací, to je délka, převýšení a část údolnice po sklonu svahu.

Výsledek poté exportujeme jako tabulku a další výpočty provedeme v programu excel. Všechny výpočty budou provedeny metodikou podle Janečka (2008) a uvedeny ve formě tabulek v přílohách.

Faktor S se vypočítá podle míry sklonitosti, kdy přestupná hranice je sklon 9% a tak se mění rovnice výpočtu:

$$a) S = 10,8 \sin\alpha + 0,03 \text{ pro sklon } < 9\%$$

$$b) S = 16,8 \sin\alpha - 0,50 \text{ pro sklon } \geq 9\%$$

Vypočtený faktor S pro jednotlivé části údolnice se následně upraví podle kumulativní četnosti délky v celé údolnici. Výsledný faktor S pro celou údolnici je součet všech upravených dílčích faktorů.

2. Faktor L

Faktor L je faktorem hodnotící v rovnici USLE délku svahu. Jako vstupní hodnota délky se používá celková délka údolnice. Pro určení exponentu m podle sklonu se spočítá sklon pro celou údolnici, celkové převýšení ku celkové délce.

Faktor L se vypočítá podle následujícího vztahu:

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

l_d je délka svahu [m]

22,13 je délka standardního pozemku

m je exponent zahrnující vliv sklonu svahu

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

Tabulka č. 8: Hodnoty exponentu m podle sklonu, Zdroj: JANEČEK 2008

5.4 Výpočet K faktoru

Pro výpočet K faktoru potřebujeme vrstvu *BPEJ* pro určení hlavní půdní jednotky (HPJ), podle níž se určí hodnota K faktoru. V řešeném území se nachází tyto hlavní půdní jednotky zmíněné v tabulce č. X. zároveň s hodnotou K faktoru určenou pro danou hlavní půdní jednotku.

HPJ	K faktor	HPJ	K faktor
15	0,51	48	0,41
18	0,24	49	0,35
26	0,41	50	0,33
29	0,32	64	0,26
32	0,19	65	0,30
37	0,16	66	0,32
38	0,31	67	0,44
39	0,41	68	0,49
40	0,24	69	0,33
41	0,33	72	0,48
46	0,47	73	0,48
47	0,43		

Tabulka č. 9: Hodnoty faktoru K pro HPJ zastoupené na zájmovém území, Zdroj: JANEČEK 2008

5.4.1 Výpočty v GIS prostředí

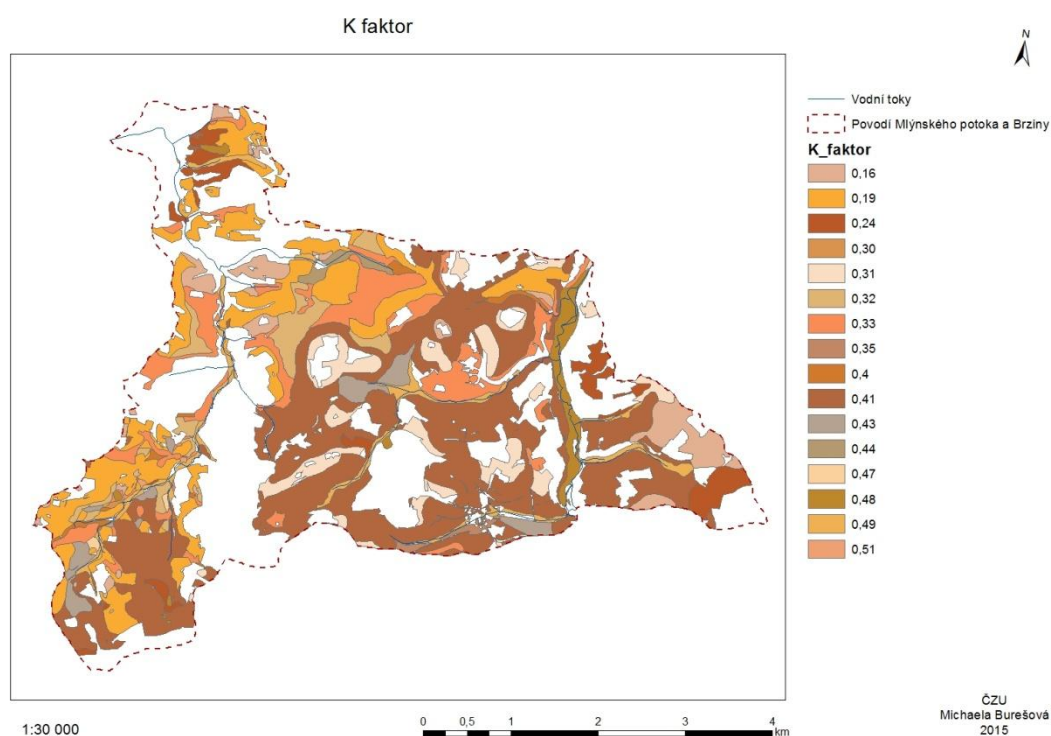
Do vrstvy *BPEJ* si přidáme nový sloupec, který pojmenujeme *K_faktor*. Typ sloupce si zvolíme *Double* pro možnost zapisování desetinných čísel. Poté pomocí dotazování přes *Select by Attributes* najdeme polygony, které mají stejnou HPJ a s *Field Calculator* vyplníme hodnoty do sloupce *K_faktor*.

Spustíme funkci *Dissolve*, která spojuje polygony podle shodnosti dat v daném sloupci do jedné nepřerušované plochy. Tímto způsobem vytvoříme z vrstvy *BPEJ* vrstvu, kde jsou plochy rozříděné podle hodnoty K faktoru. Jako sloupec, podle kterého se bude vrstva slučovat, zvolíme *K_faktor*.

- Vstupní vrstvy: *BPEJ*
- Výstupní vrstva: *K_faktor*

Vytvořenou vektorovou vrstvu *_K_faktor* poté pomocí funkce *Polygon to Raster* převedeme do rastrové vrstvy. Jako hodnotu, kterou ponese jednotlivé pixely v rastrové vrstvě, zvolíme sloupec *K_faktor*, kam jsme zaznamenali dané hodnoty.

- Vstupní vrstva: *BPEJ*
- Výstupní vrstva: *K_faktor*



Obr. č. 12: Znázornění K faktoru v řešeném území, Zdroj: vlastní

5.4.2 Výpočet podle odtokových linií

Pro získání hodnot faktoru K si spustíme funkci *Intersect* abychom spojili vrstvy *K_faktor* a *udolnice* do jedné. V této funkci se zaznamenané obrazce protnou a v místě překryvu se hodnoty obou vrstev zaznamenají do nové vrstvy. Při vložení do funkce *Intersect* se rozdělili linie vrstvy *udolnice* podle hranic polygonů vrstvy *K_faktor*.

- Vstupní vrstvy: *K_faktor*, *udolnice*
- Výstupní vrstva: *K_udolnice*

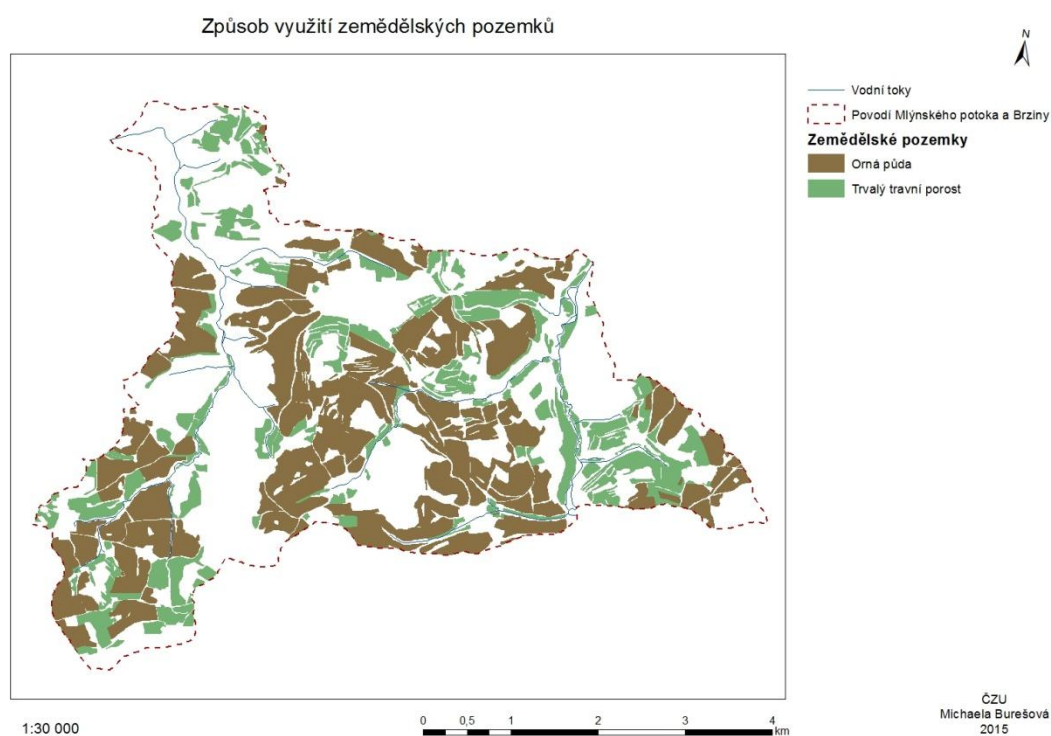
Pro další výpočty doplníme dosud chybějící informace, to jsou: pořadí částí rozdělené údolnice po sklonu svahu a délku dané části.

Po doplnění všech potřebných dat exportujeme vrstvu ve formátu tabulky a uložíme jí jako *K_udolTab*. Další výpočty budou provedeny podle Janečka (2008).

Pro opravu hodnoty K faktoru se jednotlivé části údolnice následně upraví podle kumulativní četnosti délky v celé údolnici stejně, jako u faktoru S. Výsledný faktor K pro celou údolnici bude součet všech upravených dílčích faktorů.

5.5 Výpočet C faktoru

Faktor C reprezentuje v rovnici USLE vegetační pokryv na zemědělsky využívaných pozemcích během celého roku. Každá plodina má podle zkušebních měření tabulkovou hodnotu pro určení ohroženosti půdy. Na obrázku č. 13 jsou graficky znázorněné zemědělsky využívané pozemky, orná půda a trvalý travní porost.



Obr. č. 13: Grafické znázornění způsobu využití zemědělských pozemků

Přesnou hodnotu faktoru C vypočteme na základě osevního postupu za posledních 5 let. Výpočty jsou provedeny metodikou podle Janečka (2008). Celkově spočítaná hodnota pro posledních 5 let se poté přidává do výpočtů erozní ohroženosti v podobě faktoru C. V posledních 5 letech byl na řešeném území používán osevní postup znázorněný v tabulce č. 11.

Pro správný výpočet faktoru C je nutné zohlednit možnost zvýšení eroze přívalovými srážkami. Proto se výsledná vypočtená hodnota faktoru C v danou pěstební fázi upravuje procentuální mírou srážek, faktorem R.

Měsíc	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
% R faktoru	1	11	22	30	26	8	2

Tabulka č. 10: Procentuální zastoupení srážek v rámci měsíců, Zdroj: JANEČEK 2008

Plodina	Pěstební období	Trvání období	C	R	CxR	C
jetel	1	21.7. - 30.8.	0,02	1,36	0,020	
ozimá obilnina	1	1.9. - 20.9.	0,50	0,05	0,026	
1.10. - 15.8.	2	21.9. - 31.10.	0,55	0,05	0,025	
	3	1.11 - 30.4.	0,30	0,01	0,003	
	4	1.5. - 31.7.	0,05	0,63	0,031	
	5sláma ponechána	1.8. - 31.8.	0,04	0,26	0,010	
ozimá obilnina	1	1.9. - 20.9.	0,25	0,05	0,013	
1.10. - 15.8.	2	21.9. - 31.10.	0,25	0,05	0,011	
	3	1.11 - 30.4.	0,20	0,01	0,002	
	4	1.5. - 30.6.	0,08	0,33	0,026	
	5sklizená	1.7. - 31.7.	0,25	0,30	0,075	
řepka ozimá	1	1.8. - 20.8.	0,65	0,17	0,110	
1.9. - 20.7.	2	21.8. - 30.9.	0,70	0,16	0,112	
	3	1.10. - 30.4.	0,45	0,03	0,014	
	4	1.5. - 20.7.	0,08	0,53	0,043	
	5p	21.7. - 31.8.	0,25	0,37	0,091	
jarní obilnina s podsevem	1	1.9. - 14.3.	0,25	0,10	0,025	
10.4. - 10.8.	2	15.3. - 30.4.	0,25	0,01	0,003	
	3	1.5. - 31.5.	0,20	0,11	0,022	
	4	1.6. - 20.7.	0,08	0,42	0,034	
Σ				5,00	0,70	0,139

Tabulka č. 11: Osevní postup použitý pro hodnocení současné situace, Zdroj: vlastní

5.6 Výpočet erozní ohroženosti podle Mitášové

Celkovou erozní ohroženost spočítáme univerzální rovnicí USLE. To uděláme v programu ArcGIS 10.2 pomocí funkce Raster Calculator. Tato funkce dokáže s hodnotami uložených v rastru provést matematické operace. Proto do Raster Calculator vložíme vytvořené vrstvy LS_faktor, K_faktor a C_faktor. Výsledný vzorec vložený do Raster Calculator bude vypadat takto:

$$G = "K_faktor" * "LS_faktor" * "C_faktor" * 1 * 40$$

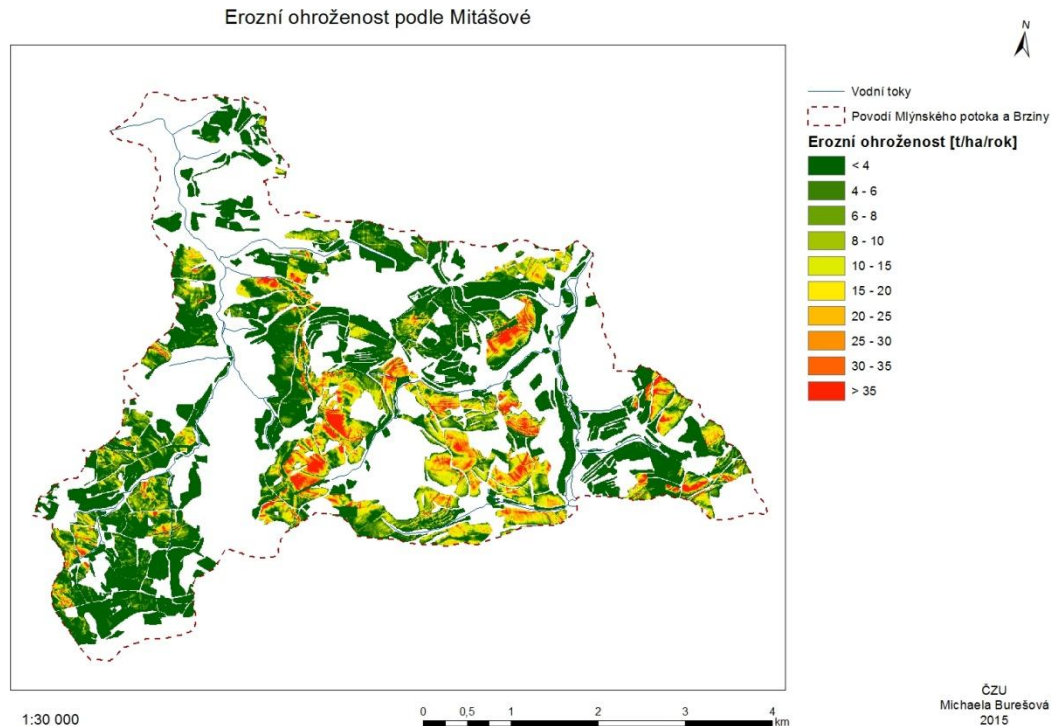
- K_faktor – rastrová vrstva reprezentující K faktor
- LS_faktor – rastrová vrstva vytvořená podle Mitášové reprezentující faktory L a S
- C_faktor – rastrová vrstva reprezentující C faktor
- 1 – hodnota reprezentující P faktor
- 40 – hodnota určená pro ČR podle Janečka (2008) reprezentující hodnotu R faktoru

Výsledkem funkce Raster Calculator bude kontinuální rastr, který zobrazí erozní ohrožení, to je vrstva G.

- Vstupní vrstvy: *K_faktor*, *LS_faktor*, *C_faktor*
- Výstupní vrstva: *G_Mitas*

Pro určení míry ohroženosti rozdělíme výsledné hodnoty do několika skupin. To provedeme pomocí funkce Reclassify, kde si zvolíme mezní hodnoty pro jednotlivé stupně ohrožení. Tímto způsobem získáme i údaje o plošném zastoupení jednotlivých ohrožení díky atributové tabulce tematické rastrové vrstvy. Rozlohu spočítáme vynásobením počtu pixelů plochou jednoho pixelu. Získaná data jsou uvedena ve výsledcích.

- Vstupní vrstvy: *G_Mitas*
- Výstupní vrstvy: *GmitasEroze*



Obr. č. 14: Grafické znázornění erozní ohroženosti podle Mitášové, Zdroj: vlastní

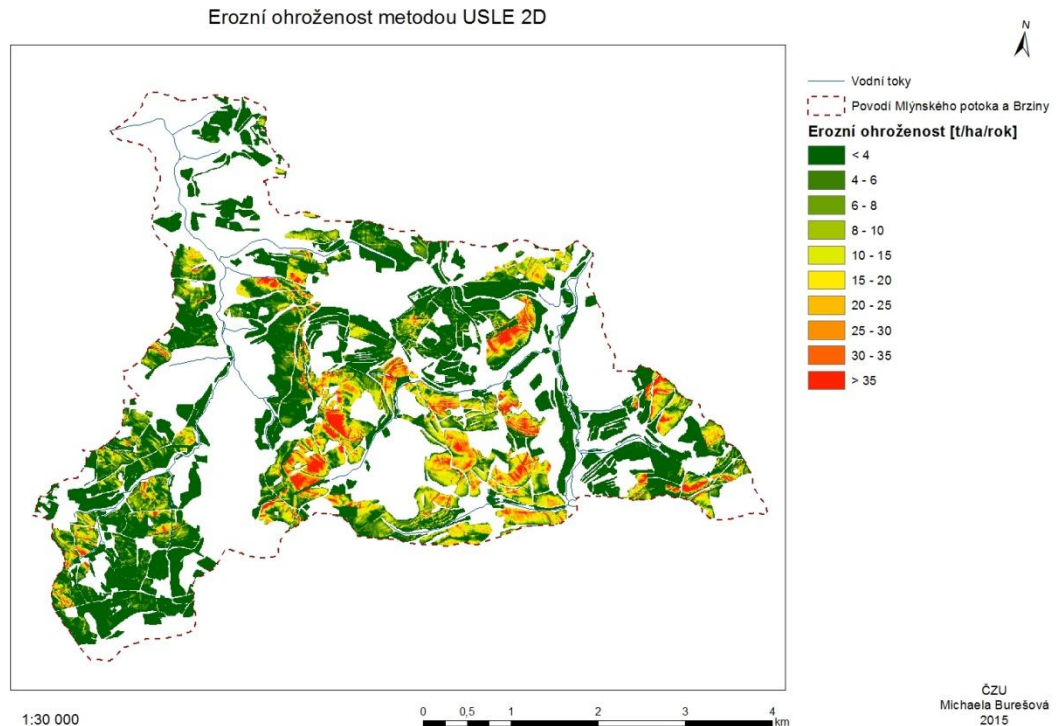
5.7 Výpočet erozního ohrožení pomocí USLE 2D

Erozní ohroženost metodou podle USLE 2D spočítáme pomocí Raster Calculator. Vstupní vrstvy jsou opět rastry reprezentující jednotlivé faktory. Jako vstupní vrstvu pro LS faktor však použijeme vrstvu *LS_pozemky*. Hodnotu erozního ohrožení spočítáme podle postupu zmíněného v kapitole 5.6.

- Vstupní vrstvy: *K_faktor*, *LS_pozemky*, *C_faktor*
- Výstupní vrstvy: *G_usle*

Abychom získali lepší přehled a míře ohrožení, rozdělíme opět výstupní hodnoty do několika skupin. To provedeme pomocí funkce *Reclassify*, kde nastavíme hraniční hodnoty.

- Vstupní vrstvy: *G_usle*
- Výstupní vrstvy: *GusleEroze*



Obr. č. 15: Erozní ohroženost vypočítaná v programu USLE 2D, Zdroj: vlastní

5.8 Protierozní opatření

Pro ochranu půdy před erozí byly použity organizační a technická opatření. Nejúčinnějším organizačním protierozním opatřením je zatravnění pozemku, to však nejde použít na celém území.

Nejpoužívanějším technickým opatřením jsou průlehy. Na místě jejich realizace je totiž možné i nadále využívat danou oblast jako obdělávatelnou ornou půdu.

5.8.1 Organizační opatření

Jako první protierozní opatření bude podle Janečka (2012) provedeno zatravnění všech mělkých půd. Jedná se o půdy, jejichž půdní horizont dosahuje maximální hloubky 30 cm. Jako další organizační opatření byl navržen nový osevňovací postup. Pro zlepšení erozní ochrany byla do tohoto osevňovacího postupu navržena obilnina s podsevem vojtěšky.

Plodina	Pěstební období	Trvání období	C	R	CxR	C
jarní obilnina 15.3. - 20.6.	1	1.10. - 28.2.	0,25	0,020	0,005	
	2	1.3. - 15.4.	0,25	0,005	0,001	
	3	16.4. - 15.5.	0,20	0,060	0,012	
	4	16.5. - 20.6.	0,08	0,200	0,016	
	5p	21.6. - 20.8.	0,04	0,540	0,022	
řepka ozimá 1.9. - 20.7.	2	21.8. - 30.9.	0,25	0,160	0,040	
	3	1.10. - 30.4.	0,20	0,030	0,006	
	4	1.5. - 20.7.	0,08	0,530	0,042	
	5p	21.7. - 30.9.	0,04	0,440	0,018	
jarní obilnina s podsevem vojtěšky 15.3. - 20.6.	1 OP	1.10. - 28.2.	0,65	0,020	0,013	
	2	1.3. - 15.4.	0,70	0,005	0,004	
	3	16.4. - 15.5.	0,45	0,060	0,027	
	4	16.5. - 20.6.	0,08	0,200	0,016	
	5	21.6. - 30.9.	0,04	0,730	0,029	
vojtěška (rok podsevu)	1	1.10. - 31.3.	0,02	0,020	0,000	
vojtěška (užitkový rok)	celý rok	1.4. - 31.3.	0,02	1,000	0,020	
vojtěška	1	1.4. - 15.9.	0,02	0,940	0,019	
ozimá obilnina 1.10. - 20.7.	2 OP	16.9. - 31.10.	0,55	0,060	0,033	
	3	1.11. - 30.4.	0,30	0,010	0,003	
	4	1.5. - 20.7.	0,05	0,530	0,027	
	5p	21.7. - 30.9.	0,02	0,440	0,009	
	Σ				6,00	0,361

Tabulka č. 12: Navržený osevni postup jako organizační protierozní opatření, Zdroj: vlastní

p – sláma ponechána, OP – setí do zoraného pole

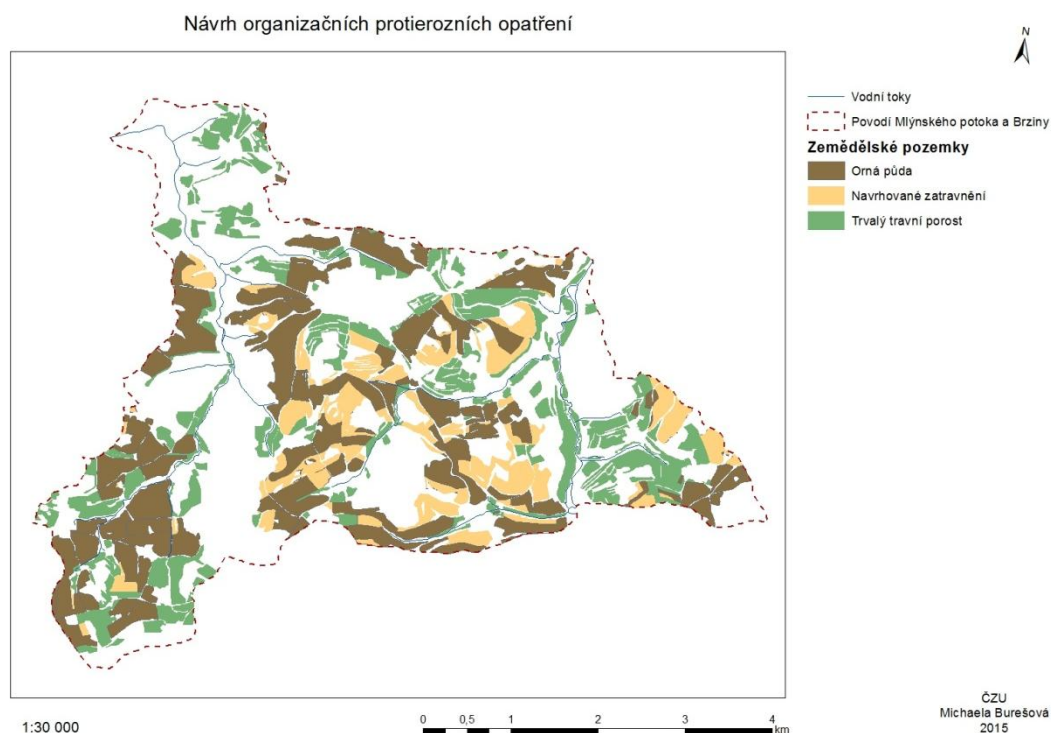
Pro určení mělkých půd vybereme z vrstvy *BPEJ* podle 5. číslice kód pro mělké půdy, to jsou číslice 5 a 6. Výběr provedeme pomocí *Select by Attributes* a pomocí *Export* → *Selected Features* uložíme nově vznikající vrstvu jako *melke_pudy*.

Pomocí funkce *Union* spojíme vrstvy *LPIS* a *melke_pudy* do jedné *LPIS_melkep_Union*. Do vrstvy přidáme nový sloupec *melke_pudy* typu *Double* pro desetinná čísla. Pomocí *Select by Attributes* vyhledáme všechny pozemky, které mají mělké půdy. Pomocí funkce *Field calculator* přepíšeme všechny hodnoty ve sloupci *melke_pudy* vybraných pozemků na 0,005, tedy zatravněnou plochu. Poté prohodíme výběr prvků pomocí nástroje *Switch Selection* a do *Field calculator* napíšeme hodnotu C faktoru z nově navrženého osevniho postupu, hodnotu 0,060175. Jelikož se nám ale sloučily 2 vrstvy, je možné, že došlo vytvoření některých ploch bez

zemědělského využití. Proto použijeme *Select by Attributes* a vybereme polygony podle původního sloupce využití, KULTURA. Tam vybereme pouze polygony s hodnotou 2 nebo 7 a pomocí *Expert – Selected Features* vytvoříme vrstvu *LPIS_OK*. Z vrstvy *LPIS_OK* poté vytvoříme rastrovou vrstvu *C_osev*, kterou použijeme jako nový faktor C pro výpočet erozní ohroženosti po organizačních opatřeních. Jako hodnotu pro rastr zvolíme sloupec *melke_pudy*.

Mimo zatravnění mělkých půd byly navrženy k zatravnění některé velmi sklonité oblasti. Nejsklonitější části zemědělsky využívaných pozemků dosahovali sklonu až 30%, ty však byly pouze ojedinělé. Na erozně ohrožených místech byl nejčastější sklon mezi 7 a 12%, na nejvíce ohrožených místech pak dosahoval sklon až k 17%. Většina míst se sklonitostí vyšší než 14% byla zatravněna. Celkem tedy v návrhu došlo k zatravnění 140 ha orné půdy.

Zatravněné plochy byly rozvrženy na základě terénního průzkumu a ortofoto map z ČÚZK pro účel zachování vizuálně nenarušeného plynulého krajinného rázu, čímž bude zachován plynulý přechod do okolního prostoru. Tímto způsobem byly navrženy oblasti zatravnění v návaznosti na zatravněné půdy a lesní porost. Jedná se především o místa v blízkosti lesa, případně bylo mírně prodlouženo zatravnění mělkých půd.



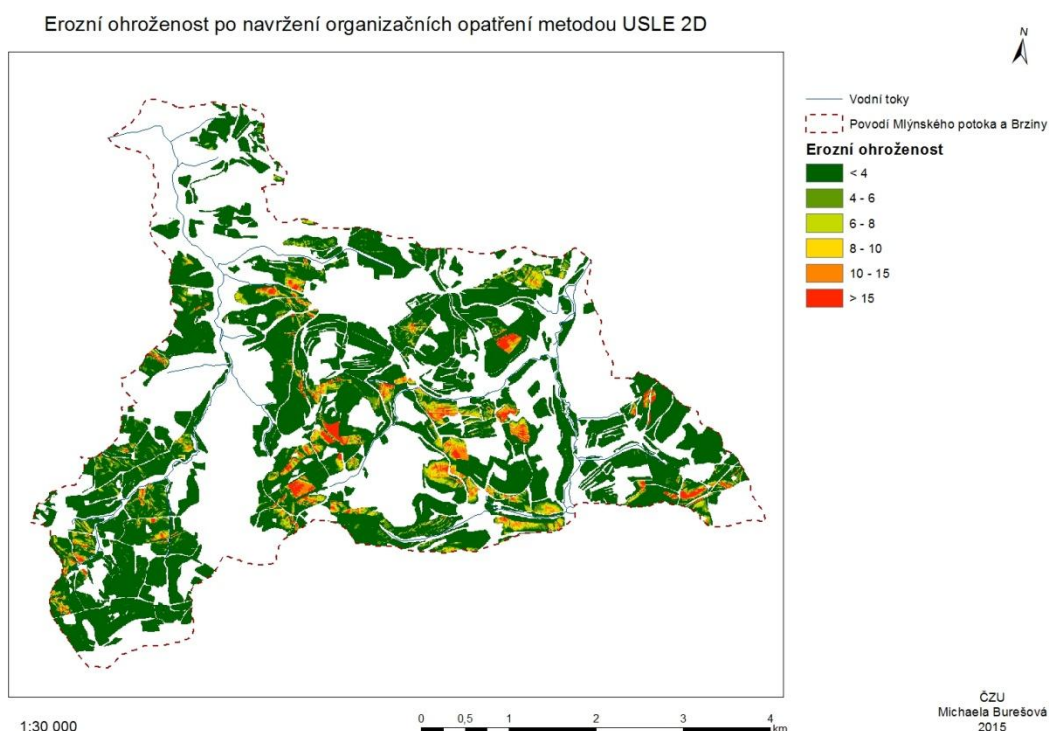
Obr. č. 16: Návrh zatravněného území, Zdroj: vlastní

Pro zhodnocení erozní ohroženosti po použití organizačních opatření musí být znovu spočítán faktor erozní ohroženosti. To provedeme zaznamenáním navrhovaných zatravněných částí do vrstvy zemědělských pozemků.

Vytvoříme si kopii vrstvy *C_factor* a vložíme nový sloupec, který nazveme *navrh*. Poté pomocí *Field Calculator* vyplníme sloupec stejnými hodnotami, jako sloupec *C_factor*. Po zapnutí editace budeme podle navržených zatravněných oblastí rozřezávat polygony pomocí nástroje *Cut the Polygons*. Do rozdělených polygonů poté doplníme správnou hodnotu C faktoru, pro zatravněnou plochu 0,005 a pro ornou půdu 0,060175. Po vytvoření navržených zatravněných oblastí opět převedeme vektorovou vrstvu *C_factor* do rastrové vrstvy pomocí funkce *Polygon to Raster*. Jako hodnotu pro nový rastr zvolíme sloupec *navrh* a vytvářenou vrstvu nazveme *C_navrh*.

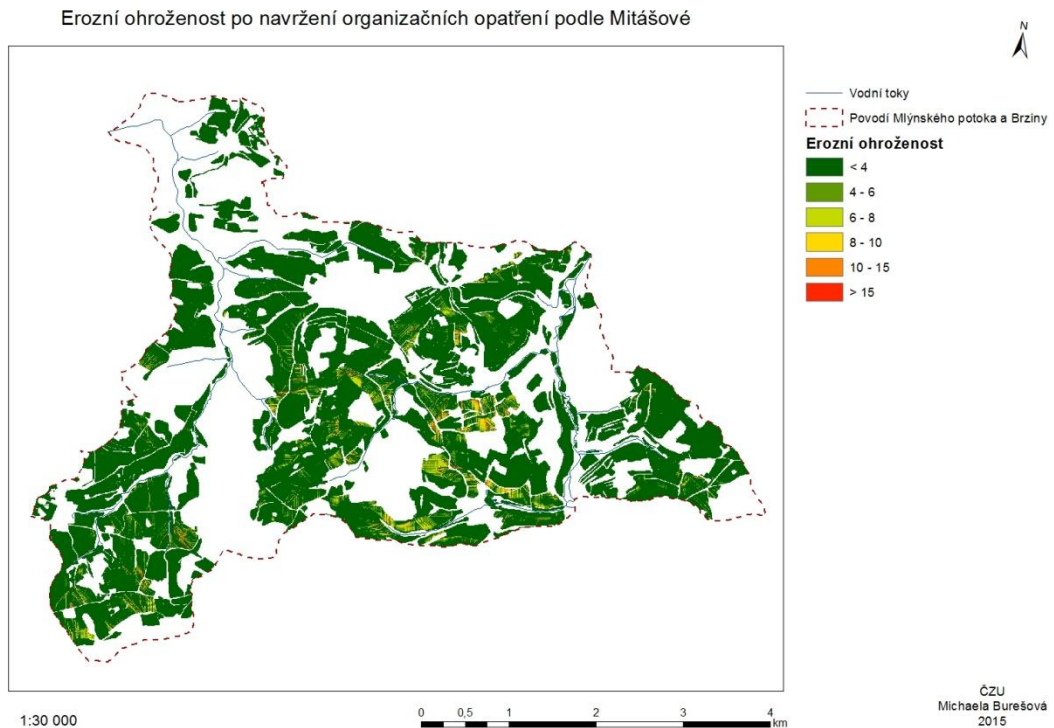
Poté přepočítáme erozní ohroženost G podle postupů zmíněných v kapitolách 5.6 a 5.7. Výstupní vrstvy pojmenujeme podle použité metody:

- Podle Usle2D: *GusleOrgan*



Obr. č. 17: Grafické znázornění erozní ohroženosti metodou USLE 2D, Zdroj: vlastní

- Podle Mitášové: *GmitOrgan*



Obr. č. 18: Grafické znázornění erozní ohroženosti podle Mitášové, Zdroj: vlastní

Bohužel zatravnění všech mělkých půd a upravený osevnický postup nestačí pro ochranu všech zemědělských půd a musíme u některých z pozemků provést další opatření.

5.8.2 Technická opatření

V technických opatřeních bylo vytvořeno celkem 33 průlehů, z toho 12 vsakovacích průlehů na propustných půdách, 19 odváděcích průlehů a 2 záchytné průlehy. Průlehy se rozlišují podle podélného sklonu. Vsakovací pásy mají podélný sklon nižší než 1%, odváděcí průlehy mají podélný sklon v rozhraní 1 – 3%. Průlehy s vyšší sklonitostí jsou průlehy svodné.

Technická opatření byla vytvořena v liniové vrstvě *Prulehy*. Umístění a správná sklonitost průlehů byla určena pomocí vrstev *VrstevniceHlavni* a *VrstevniceZesilena*.

Pro určení míst propustných byla vytvořena nová vrstva. Ta se vytvořila z vrstvy BPEJ pomocí *Select ba Attributes* označením pátých čísel BPEJ definující propustnost půdy (hodnoty 3, 4, 6, 8). Pomocí *Export -> Selected Features* byla

data sepsána do nové vrstvy *Propustne_pudy*. Pomocí této vrstvy byly určeny možné oblasti pro vsakovací průlehy.

Abychom zkontrolovali správnou sklonitost odváděcích průlehů, přidáme do vrstvy *Prulehy* nové sloupce délka, převýšení a sklon. Poté spočítáme délku průlehů pomocí *Calculate geometry* a zapíšeme si převýšení průlehu dosaženého za danou délku. Následně pomocí *Field Calculator* zjistíme sklonitost ve sloupci sklon tím, že vydělíme sloupec převýšení sloupcem délky průlehu a pro převod do procent vynásobíme stem. Výsledkem je tabulka odváděcích průlehů udávající hodnoty délky, převýšení a sklonu v procentech. Informace a hodnoty průlehů jsou zaznamenané v tabulkách č. 13, 14 a 15. Mapové zobrazení umístění průlehů je znázorněno na obr. č. 19.

Číslo	Délka [m]	Číslo	Délka [m]
A	130,32	G	93,19
B	307,67	H	122,32
C	225,93	I	63,51
D	242,82	J	173,07
E	533,14	K	281,70
F	243,62	L	254,38

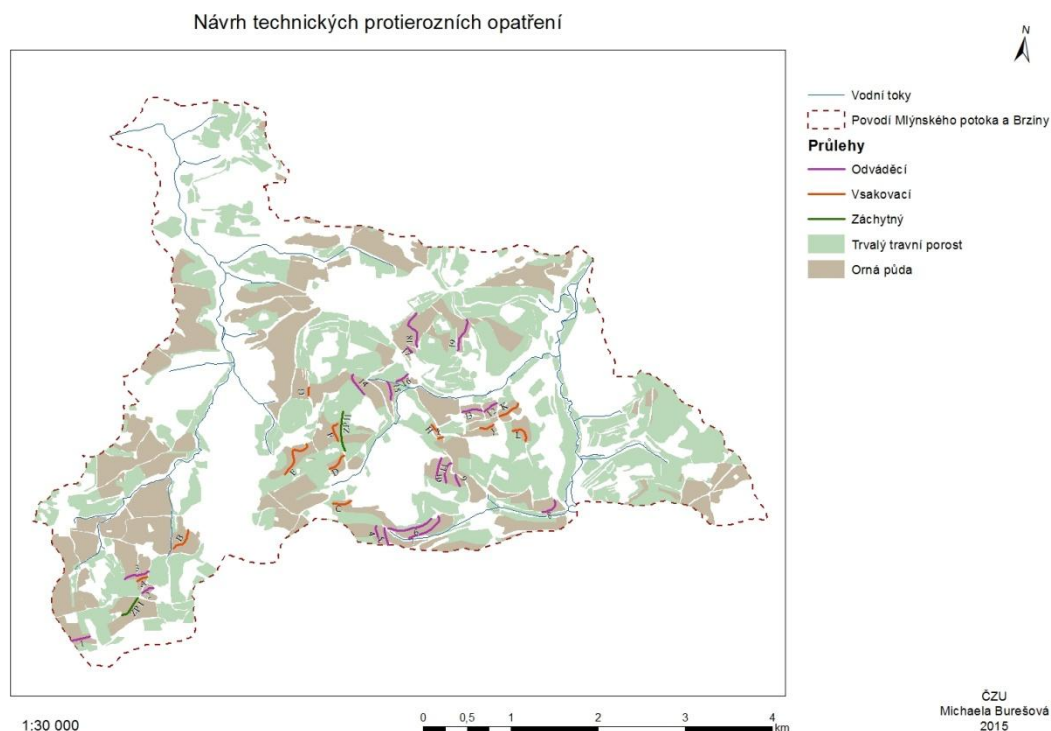
Tabulka č. 13: Vsakovací průlehy, Zdroj: vlastní

Číslo	Délka [m]	Převýšení [m]	Sklon [%]
1	221,00	3,00	1,36
2	154,01	3,00	1,95
3	298,01	5,00	1,68
4	198,33	5,00	2,52
5	201,23	4,00	1,99
6	541,14	10,00	1,85
7	464,26	6,00	1,29
8	231,91	4,00	1,72
9	143,46	2,50	1,74
10	264,73	5,00	1,89
11	262,41	4,00	1,52
12	177,68	3,00	1,69
13	235,31	5,00	2,12
14	284,62	3,00	1,05
15	213,36	3,00	1,41
16	161,03	2,50	1,55
17	88,59	2,00	2,26
18	473,81	6,00	1,27
19	388,73	6,00	1,54

Tabulka č. 14: Odváděcí průlehy, Zdroj: vlastní

Číslo	Délka [m]	Číslo	Délka [m]
ZPI	283,21	ZPII	454,08

Tabulka č. 15: Záchytné průlehy, Zdroj: vlastní



Obr. č. 19: Grafické zobrazení rozmístění navrhovaných průlehů, Zdroj: vlastní

Pro určení míry erozní ohroženosti po návrhu technických protierozních opatření bude opět přepočítána erozní ohroženost G . V tomto případě se však pro započítání účinku průlehů musí oblasti jejich umístění vyřiznout z vrstvy zemědělských pozemků.

Proto byla na vrstvu *Prulehy* použita funkce *Buffer*, která vytvoří polygonovou vrstvu v oblasti okolo linie o zadané vzdálenosti. Jako výchozí byla nastavena pro výsledný průlehl celková šířka 10m.

- Vstupní vrstvy: *Prulehy*
- Výstupní vrstvy: *Prulehy_10*

Výsledná polygonová vrstva byla pomocí funkce *Erase* vymazána z vrstvy *LPIS*, vrstvy pozemků.

- Vstupní vrstvy: *LPIS*, *Prulehy_10*
- Výstupní vrstvy: *LPIS_prulehy*

Následné výpočty proběhnou opět podle všech používaných metod pro určení erozní ohroženosti, tedy podle Mitášové, metodou USLE2D a manuálním přepočítáním pomocí odtokových linií.

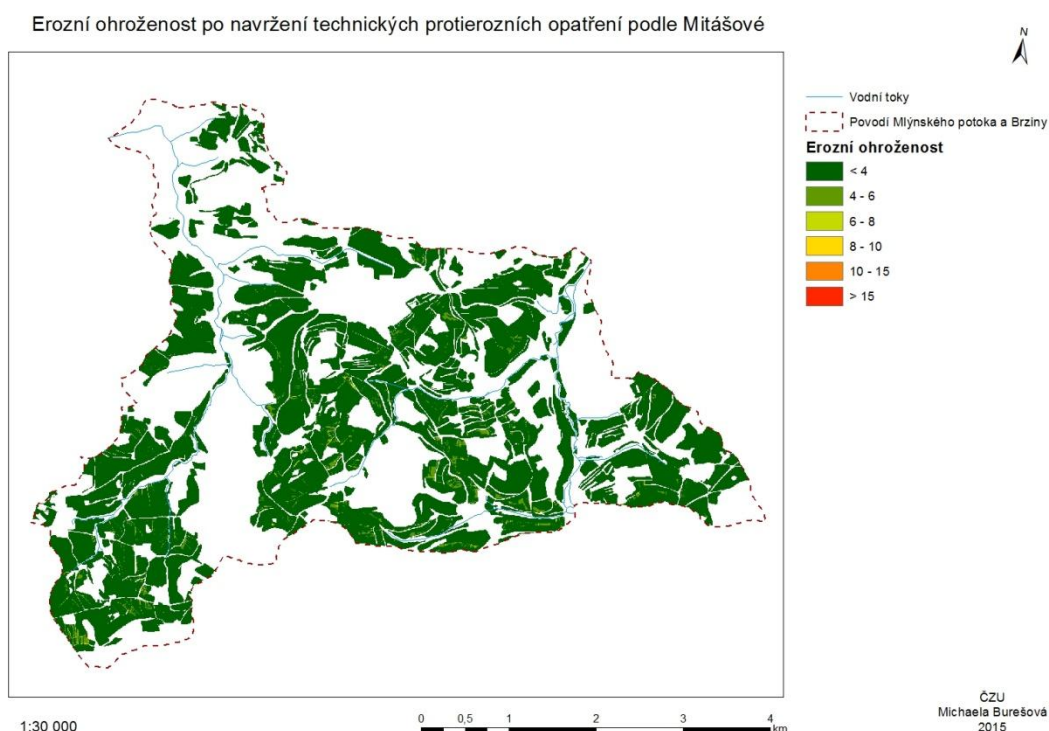
1. Výpočet LS faktoru podle Mitášové

Vrstvou *LPIS_prulehy* byla poté ořezána vrstva *DMR4G*. To jsme udělali pomocí funkce *Extract by Mask*, kdy může být rastrová vrstva ořezána vektorovou vrstvou.

- Vstupní vrstvy: *DMR4G*, *LPIS_prulehy*
- Výstupní vrstvy: *DMR_prulehy*

Z vrstvy *DMR_prulehy* se poté vypočítá faktor LS metodou podle Mitášové podle postupu v kapitole 5.1. Výstupní vrstva vypočítaná pro LS faktor bude pojmenována *LSmitasPrul*.

Pomocí *Raster Calculator* poté bude přepočítána míra erozní ohroženosti a přesné výsledky návrhu budou uvedeny ve výsledcích.



Obr. č. 20: Grafické znázornění erozní ohroženosti podle Mitášové, Zdroj: vlastní

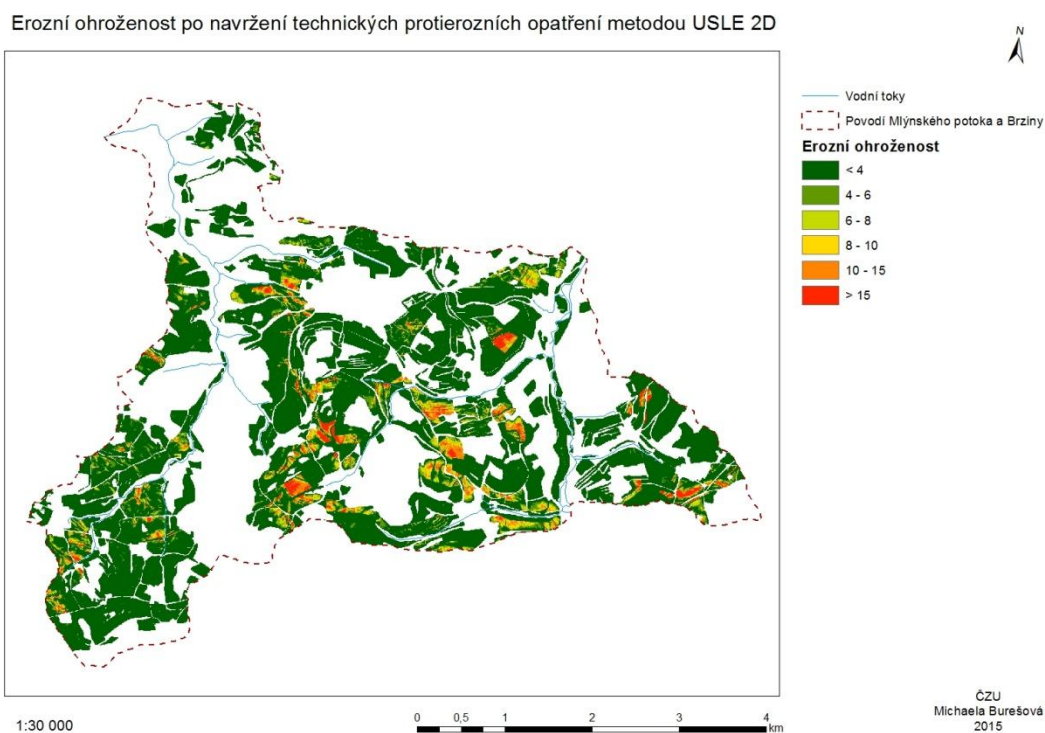
2. Výpočet faktoru LS metodou USLE 2D

Vrstva *LPIS_pozemky* se převede pomocí funkce *Polygon to Raster* do rastrové vrstvy *LPIS_prul*. Aby nám výpočet v programu USLE 2D vyšel správně, musíme hodnoty ve vrstvě změnit na celá čísla hodnoty 1 pro pozemky a hodnotou 0 pro okolní plochu. To provedeme pomocí funkce *Reclassify*, Kdy místo původních hodnot pro osevní postup obě hodnoty změním na hodnotu 1 a NoData změním na hodnotu 0. Výsledkem bude rastr ve tvaru obdélníku vyplněný hodnotami 1 pro pozemky (parcely) a 0 pro okolní plochu.

- Vstupní vrstvy: *LPIS_prulehy*
- Výstupní vrstvy: *Parcel_prul*

Pomocí vrstvy *Parcel_prul* a vrstvy *DMR4G* bude vypočítán faktor LS metodou USLE 2D podle postupu v kapitole 5.2. Výstupná vrstva pro LS faktor bude pojmenována *LSuslePrul*.

Pro výpočet míry erozní ohroženosti bude opět použit *Raster Calculator* pro vypočítání výsledné hodnoty erozní ohroženosti a vrstva bude uložena jako *GuslePrul*. Výsledky budou zmíněny ve výsledcích.



Obr. č. 21: Grafické znázornění erozního ohrožení metodou USLE 2D, Zdroj: vlastní

Výpočet pomocí odtokových linií

Pro výpočet změny erozní ohroženosti pomocí odtokových linií potřebujeme novou vrstvu. Tu vytvoříme z vrstev *udolnice* a *Prulehy_10*. Zapneme si funkci *Erase* vložíme do ní vrstvu *udolnice*, kterou ořízneme vrstvou *Prulehy_10* pro vytvoření přerušení údolnic v místech navržených průlehů. Výstupnou vrstvu pojmenujeme *Udolnice_prulehy*.

- Vstupní vrstvy: *Udolnice, Prulehy_10*
- Výstupní vrstvy: *UdolniceLS_prul*

Pro další výpočty si vytvoříme kopii této vrstvy, kterou nazveme *UdolniceK_prul*. Tuto vrstvu poté využijeme pro výpočet K faktoru.

Pro zaznamenání nově navrženého vegetačního pokryvu do rozdělených údolnic si vytvoříme vrstvu zemědělských ploch. Pro tato data použijeme funkci *Dissolve*, do které vybereme jako vstupní vrstvu *C_faktor*. Sloupec, podle kterého budeme slučovat polygony do jedné plochy, vybereme návrh. Vytvářenou vrstvu pojmenujeme *C_prulehy*.

- Vstupní vrstvy: *C_faktor*
- Výstupní vrstvy: *C_prulehy*

Poté vybereme funkci *Intersect*, která nám zaznamená hodnoty protínajících se vrstev do nové vrstvy. Nová liniová vrstva bude rozdělena na místech, kde jsou hranice vrstvy *C_prulehy*. Nově vytvořenou vrstvu pojmenuje *UdolniceLS_navrh*. Pro další výpočty si otevřeme atributovou tabulku, v rámci editace přepočítáme délku jednotlivých částí údolnic a zkontrolujeme převýšení, poté tabulku exportujeme. Tabulku pojmenujeme stejně jako vrstvu, ze které ji exportujeme, to je *UdolniceLS_navrh*. Další výpočty LS faktoru po návrhu technických opatření budou provedeny v Excelu podle Janečka (2008).

Pro výpočet K faktoru pro konečný návrh za použití technických protierozních opatření provedeme podobný postup jako s faktorem LS. Pomocí funkce *Intersect* vybereme vrstvy *K_faktor* a *UdolniceK_prul* vytvoříme novou vrstvu *UdolniceK_navrh*. Poté si otevřeme atributovou tabulku a v rámci editace přepočítáme délku jednotlivých částí údolnic, poté tabulku exportujeme. Tabulku

pojmenujeme stejně jako vrstvu, ze které ji exportujeme, to je *UdolniceK_navrh*. Další výpočty proběhnou v programu Excel podle Janečka (2008).

6 VÝSLEDKY

6.1 Současný stav erozního ohrožení v povodí Mlýnského potoka a Brziny

Při výpočtu v GIS prostředí došlo ke zjištění nejvíce ohrožených území. Je známo, že voda odtéká z pozemků pryč přednostně po svazích konvexních kopců, ve výpočtech však jako jedny z nejvíce ohrožených oblastí vyšly konkávní oblasti svahů.

Každá z použitých metodik vysvětlila ohroženost těchto území jiným způsobem.

Metoda programu Usle2D zvýraznila problematiku velikých otevřených území. Erozní ohroženost byla vyjádřena extrémně vysokými hodnotami, kdy na otevřených sklonitých územích s dlouhým svahem faktor erozní ohroženosti dosahoval hodnoty 173 t.ha-1.rok-1. Erozi nejohroženější části pozemků tak byly vyčleněny vysokými hodnotami z řešeného pozemku, kde na zbylém území byla vyjadřována erozní ohroženost mnohem nižší.

Výpočetní metoda podle Mitášové (1998) zobrazila nejvíce erozně ohrožené oblasti na stejných místech jako program Usle2D, výsledky této metody však nedosahovaly tak extrémních hodnot. Eroze byla vyjádřena přesněji pomocí plynulého přechodu mírné ohroženosti do vyšších hodnot v nejohroženější části pozemku. Erozní ohroženost však byla zvýrazněna v místech soustředěného povrchového odtoku.

6.1.1 Zhodnocení metodou USLE 2D

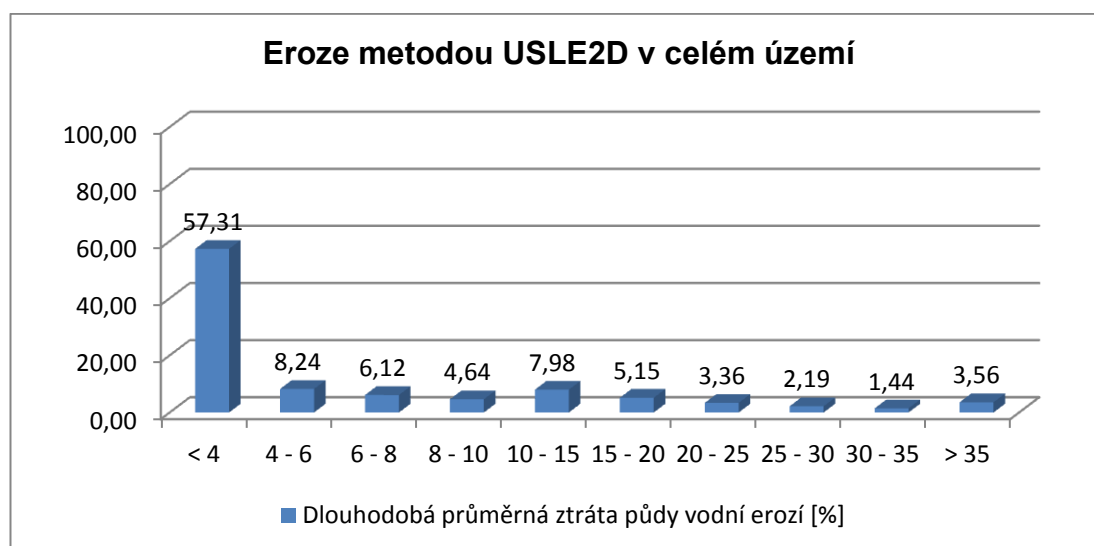
Erozní ohroženost celého zájmového území

Při hodnocení současné erozní ohroženosti metodou USLE 2D byla zjištěna erozní ohroženost zhruba na třetině zájmového území. Velikost erozně ohroženého území se s mírou ohroženosti nijak nesnižuje, spíše je jeho rozloha kolísavá.

Nejvýše hodnocená míra ohrožení, odtok více než 35 tun půdy na ha za rok, vyšla tak vysoká kvůli extrémním hodnotám na velikých nepřerušovaných územích. Do tohoto měření totiž není zaznamenáno pouze území ohrožené ztrátou o 5 tun vyšší, ale všechna území, kde vyšla hodnocení erozní ohroženosti vysoká čísla.

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	Na ploše [ha]	Celá oblast %
< 4	704,53	57,31
4 - 6	101,29	8,24
6 - 8	75,23	6,12
8 - 10	57,03	4,64
10 - 15	98,14	7,98
15 - 20	63,35	5,15
20 - 25	41,29	3,36
25 - 30	26,96	2,19
30 - 35	17,72	1,44
> 35	43,79	3,56
Celkem	1229,31	

Tabulka č. 16: Současná situace erozní ohroženosti na celém území metodou USLE 2D, Zdroj: vlastní



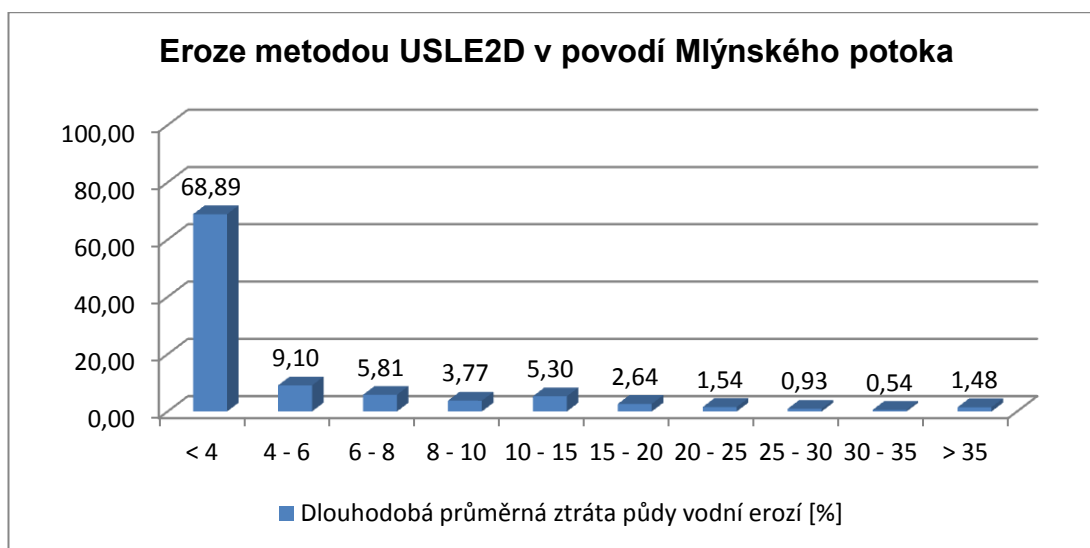
Obr. č. 22: Zhodnocení současné erozní ohroženosti na celém území, Zdroj: vlastní

Erozní ohroženost v povodí Mlýnského potoka

Erozní ohroženost v povodí Mlýnského potoka je v porovnání s výsledkem celého zájmového území značně nižší. To však není z důvodu nižší sklonitosti oblasti, ale kvůli zatravněným velmi sklonitým pozemkům v nejsevernější části povodí. Rozloha erozně ohrožených území se postupně zvyšujícím se ohrožením poměrně plynule snižuje.

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	Na ploše [ha]	Mlýnský potok %
< 4	427,03	68,89
4 - 6	56,40	9,10
6 - 8	36,02	5,81
8 - 10	23,35	3,77
10 - 15	32,82	5,30
15 - 20	16,33	2,64
20 - 25	9,56	1,54
25 - 30	5,80	0,93
30 - 35	3,38	0,54
> 35	9,15	1,48
Celkem	619,83	

Tabulka č. 17: Současná situace v povodí Mlýnského potoka metodou USLE 2D, Zdroj: vlastní



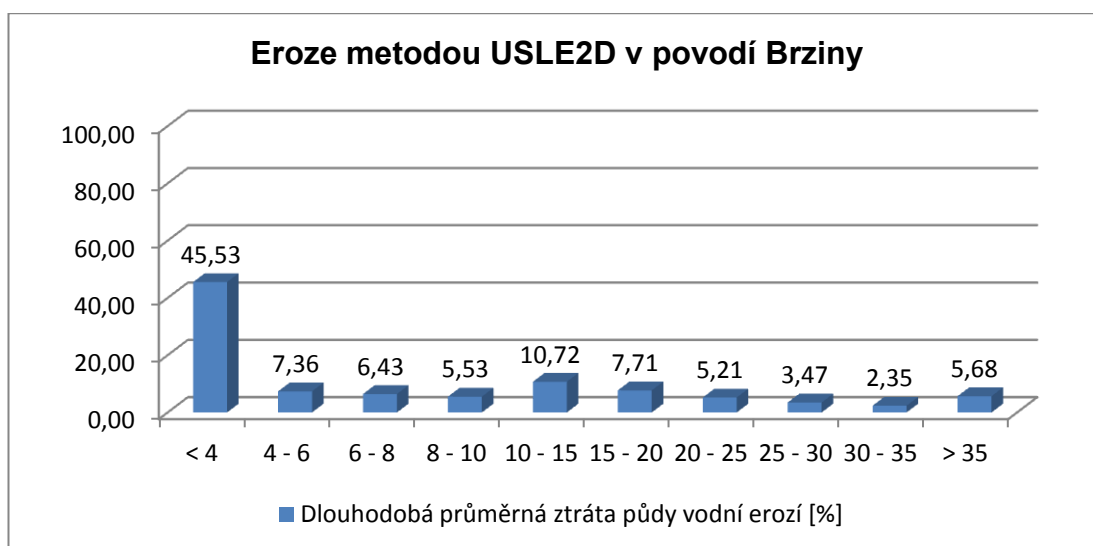
Obr. č. 23: Zhodnocení současné erozní ohroženosti v povodí Mlýnského potoka metodou USLE 2D, Zdroj: vlastní

Erozní ohroženost v povodí Brziny

Erozní ohroženost v povodí Brziny vyšla procentuálně vyšší kvůli nižší zatravněnosti celého území. Nejsou zde totiž extrémně sklonité oblasti, které byly v minulosti zatravněny. Jako erozí ohrožená oblast vyšla více než polovina zemědělsky využívaných pozemků. Rozloha ohroženého území se postupně nijak nesnižuje se zvyšující se mírou ohrožení. Důvodem, proč se rozloha ohroženého území za použití metody USLE2D nesnižuje, jsou extrémní hodnoty, které metoda USLE2D uvádí i pro méně ohrožené oblasti.

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	Na ploše [ha]	Celá oblast %
< 4	277,50	45,53
4 - 6	44,89	7,36
6 - 8	39,21	6,43
8 - 10	33,68	5,53
10 - 15	65,32	10,72
15 - 20	47,01	7,71
20 - 25	31,73	5,21
25 - 30	21,17	3,47
30 - 35	14,34	2,35
> 35	34,64	5,68
Celkem	609,49	

Tabulka č. 18: Současná situace erozní ohroženosti v povodí Brziny metodou USLE 2D, Zdroj: vlastní



Obr. č. 24: Zhodnocení současné erozní ohroženosti v povodí Brzina, Zdroj: vlastní

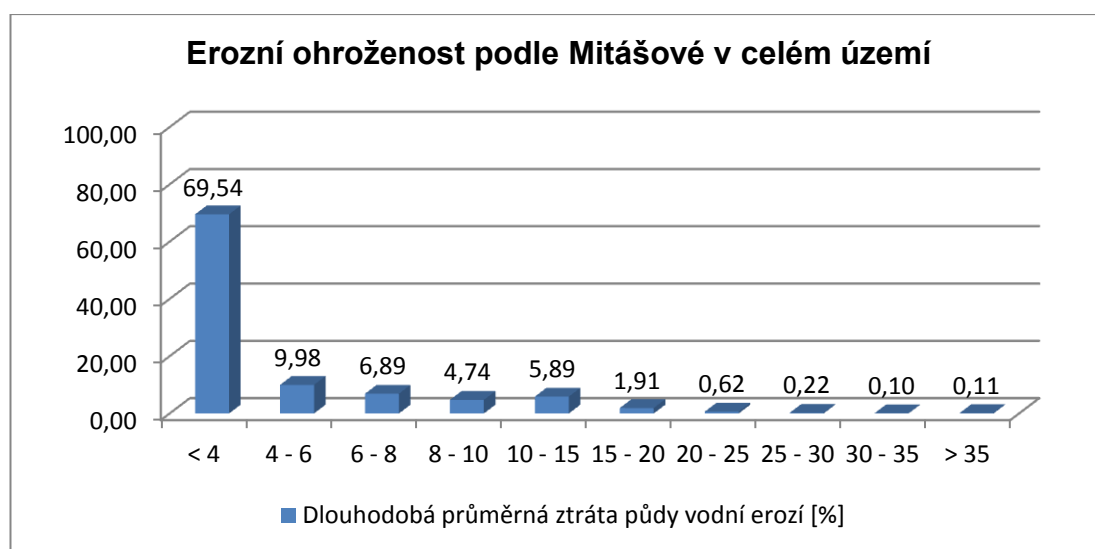
6.1.2 Zhodnocení podle Mitášové

V hodnocení erozní ohroženosti podle Mitášové (1998) vyšla rozloha neohroženého území zhruba o 100 ha vyšší než pomocí metody USLE 2D. Hlavním důvodem je nejspíše plynulejší přechod mezi neohroženým územím a územím vysoce náchylným k erozi. V této metodě se rozloha ohroženého území postupně zvyšujícím se nebezpečím snižuje. Výsledná rozloha nejvyšší hodnocené eroze, více než $35 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, vyšla o více než 40 ha nižší, než v metodě USLE 2D. Důvodem jsou mírnější skoky mezi nízkými a vysokými hodnotami.

I když podle Mitášové vyšla rozloha neohroženého území vyšší, než pomocí metody USLE 2D, rozlohy ohrožených území při porovnání mezi oběma metodami stoupají a klesají na stejných místech.

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy [$\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$]	Na ploše [ha]	Celá oblast %
< 4	854,61	69,54
4 - 6	122,66	9,98
6 - 8	84,70	6,89
8 - 10	58,22	4,74
10 - 15	72,37	5,89
15 - 20	23,43	1,91
20 - 25	7,66	0,62
25 - 30	2,66	0,22
30 - 35	1,18	0,10
> 35	1,39	0,11
celkem	1228,86	

Tabulka č. 19: Současná situace erozní ohroženosti na celém území podle Mitášové, Zdroj: vlastní



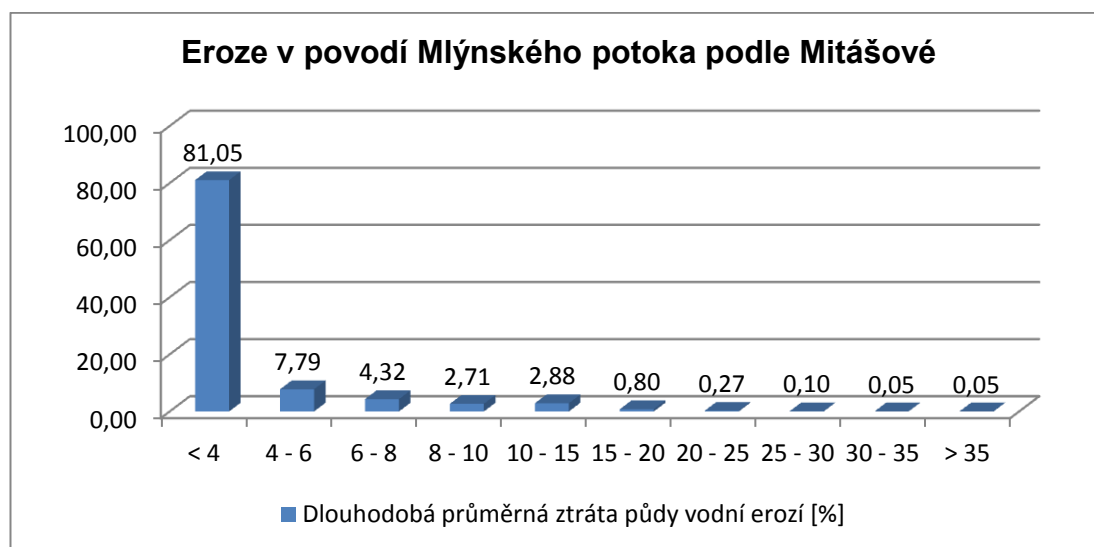
Obr. č. 25: Zhodnocení současné erozní ohroženosti na celém území podle Mitášové, Zdroj: vlastní

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy v povodí Mlýnského potoka

Z hodnocení erozní ohroženosti v povodí Mlýnského potoka je vidět, že rozloha ohrožených území postupně s mírou stupně ohrožení rychle klesá. Rozloha území neohrožených erozí zde vyšla opět vyšší, než v metodě USLE2D. Když ale opět porovnáme obě metody hodnocení, můžeme vidět, že rozlohy řešených území opět stoupají a klesají na stejných místech.

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	Na ploše [ha]	Podíl plochy %
< 4	502,20	81,05
4 - 6	48,24	7,79
6 - 8	26,76	4,32
8 - 10	16,77	2,71
10 - 15	17,86	2,88
15 - 20	4,94	0,80
20 - 25	1,66	0,27
25 - 30	0,59	0,10
30 - 35	0,29	0,05
> 35	0,30	0,05
Celkem	619,61	

Tabulka č. 20: Současná situace erozní ohroženosti v povodí Mlýnského potoka podle Mitášové, Zdroj: vlastní



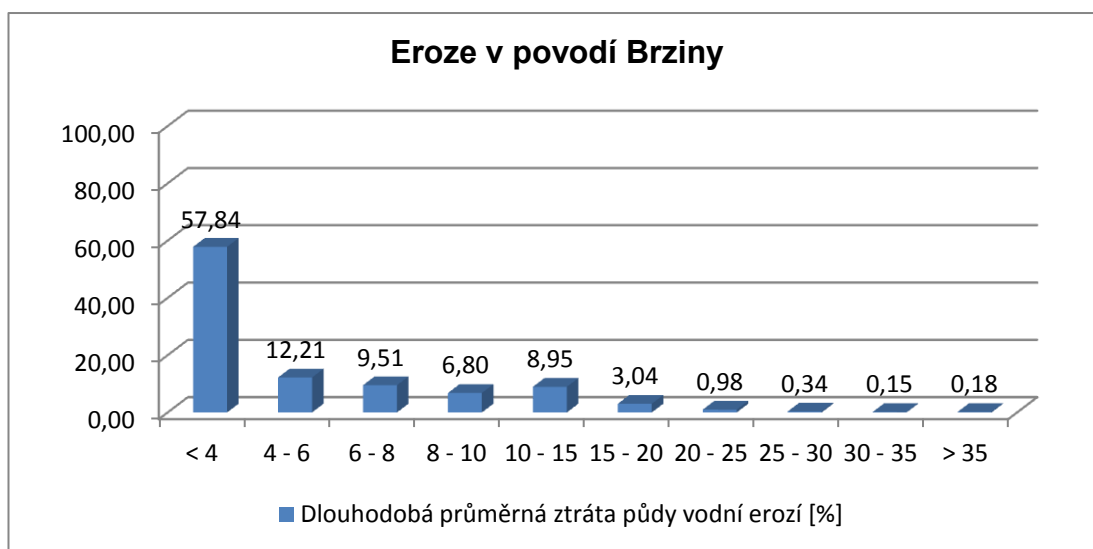
Obr. č. 26: Zhodnocení současné erozní ohroženosti v povodí Mlýnského potoka, Zdroj: vlastní

Erozní ohroženost v povodí Brziny

Ve výsledcích hodnocení erozního ohrožení v povodí Brziny můžeme vidět, že celá tato oblast je procentuálně více ohrožená vodní erozí, než povodí Mlýnského potoka. Erozí je podle Mitášové ohrožena více než polovina zemědělských pozemků. K největšímu zastoupení erozně ohrožené půdy je však poměrně nízké překročení, to je ztráta půdy do 10 tun na jeden ha za rok. Výjimkou je ohrožení v intervalu mezi 10 až 15 tunami. Poté již rozlohy ohrožených oblastí rychle klesají.

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	Na ploše [ha]	Podíl plochy %
< 4	352,40	57,84
4 - 6	74,41	12,21
6 - 8	57,94	9,51
8 - 10	41,45	6,80
10 - 15	54,51	8,95
15 - 20	18,50	3,04
20 - 25	6,00	0,98
25 - 30	2,07	0,34
30 - 35	0,89	0,15
> 35	1,09	0,18
Celkem	609,25	

Tabulka č. 21: Současná situace erozní ohroženosti v povodí Brzina podle Mitášové, Zdroj: vlastní



Obr. č. 27: Zhodnocení současné erozní ohroženosti v povodí Brzina, Zdroj: vlastní

6.1.3 Zhodnocení podle odtokových linií

Kontrolní odtokové linie byly vytvořeny na nejohroženějších pozemcích. Některé z více ohrožených pozemků, které nebyly na konvexních svazích, bohužel nemohly být zkontrolovány touto metodou. Hodnota erozní ohroženosti byla překročena na všech kontrolovaných pozemcích. Tato zjištění tedy potvrzují hodnocení erozní ohroženosti vypočítaných v GIS prostředí.

Pozemek	Údolnice	S	L	C	K	P	R	G
2703	A	1,558	3,523	0,139	0,40	1	40	12,31
2703	B	1,694	6,091	0,139	0,34	1	40	19,68
2707/1	C	2,587	2,367	0,139	0,23	1	40	7,85
2707/1	D	5,465	2,964	0,139	0,32	1	40	28,64
0501/5	E	2,917	2,329	0,139	0,41	1	40	15,47
0501/5	F	2,117	3,455	0,139	0,40	1	40	16,25
0501/5	G	1,146	3,166	0,139	0,41	1	40	8,32
0501/5	H	2,473	1,958	0,139	0,31	1	40	8,48
0501/5	I	4,203	2,199	0,139	0,40	1	40	20,43
0501/5	J	4,934	5,400	0,139	0,41	1	40	31,00
8502/1	K	1,547	3,881	0,139	0,39	1	40	12,97
8502/1	L	5,027	4,711	0,139	0,40	1	40	53,40
8502/1	M	1,910	3,496	0,139	0,31	1	40	11,58
9605/2	N	2,439	4,229	0,139	0,72	1	40	41,51
9606	O	1,701	4,324	0,139	0,41	1	40	16,88
9606	P	1,998	3,104	0,139	0,41	1	40	14,23
6607	Q	2,246	4,544	0,139	0,16	1	40	9,14
6607	R	3,225	3,002	0,139	0,16	1	40	8,67
9605/1	S	2,622	6,802	0,139	0,39	1	40	38,93
9605/1	T	5,249	4,228	0,139	0,37	1	40	46,20
8606	U	4,304	4,600	0,139	0,39	1	40	43,43
8606	V	3,958	3,532	0,139	0,39	1	40	13,13
0606/1	W	5,840	4,507	0,139	0,39	1	40	57,30

Tabulka č. 22: Současná situace erozní ohroženosti metodou odtokových linií, Zdroj: vlastní

6.2 Zhodnocení erozní ohroženosti v návrhu protierozních opatření

V zájmovém území byly nejprve zatravněny mělké půdy. Byl navržen protierozní osevní postup, se kterým byla znovu spočítána erozní ohroženost. Kvůli stále nadměrné erozní ohroženosti byly navrženy oblasti s vysokým sklonem nebo příliš vysokou erozí k zatravnění. Bohužel ani po zatravnění některých částí se nepodařilo snížit erozi na celém řešeném území.

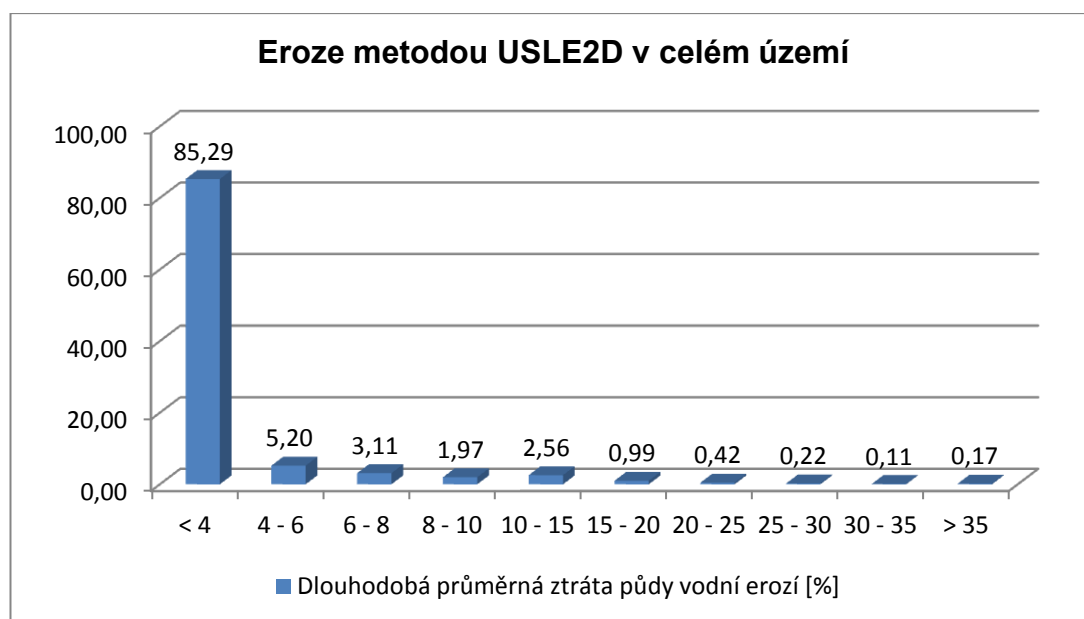
Z důvodu překročení povolené míry eroze na poměrně velkém území byla tedy navržena technická protierozní opatření. Jako tato opatření byly vybrány průlehy, konkrétně záchytné, vsakovací a odváděcí.

6.2.1 Metoda USLE 2D v celém území

V metodě USLE2D došlo z hlediska celého řešeného území po použití technických protierozních opatření k velmi mírnému snížení hodnot dlouhodobé průměrné ztráty půdy z hlediska. Důvodem je především způsob provádění výpočtu, který je řešen z velikosti plochy, ze které voda přitéká.

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	Na ploše [ha]	Podíl plochy %
< 4	1048,09	85,29
4 - 6	63,94	5,20
6 - 8	38,24	3,11
8 - 10	24,15	1,97
10 - 15	31,40	2,56
15 - 20	12,15	0,99
20 - 25	5,21	0,42
25 - 30	2,72	0,22
30 - 35	1,38	0,11
> 35	2,04	0,17
Celkem	1229,31	

Tabulka č. 23: Zhodnocení návrhu protierozních opatření na celém území metodou USLE 2D, Zdroj: vlastní



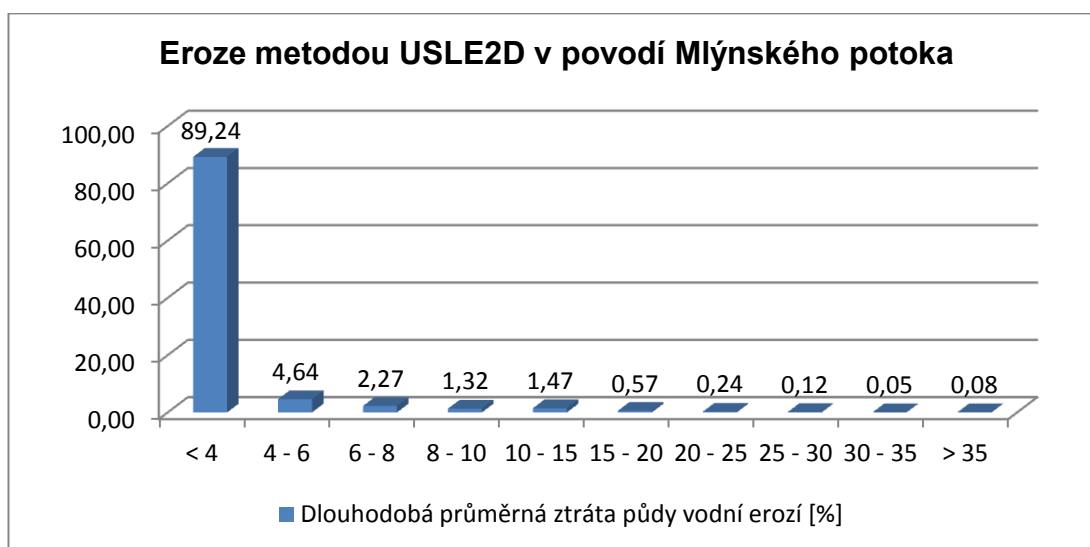
Obr. č. 28: Zhodnocení erozní ohroženosti s návrhem protierozních opatření na celém území, Zdroj: vlastní

V povodí Mlýnského potoka

Erozní ohroženost v povodí Mlýnského potoka se moc nezměnila, stále je však toto povodí méně ohroženou oblastí.

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	Na ploše [ha]	Podíl plochy %
< 4	553,14	89,24
4 - 6	28,77	4,64
6 - 8	14,05	2,27
8 - 10	8,18	1,32
10 - 15	9,09	1,47
15 - 20	3,56	0,57
20 - 25	1,51	0,24
25 - 30	0,72	0,12
30 - 35	0,32	0,05
> 35	0,52	0,08
Celkem	619,83	

Tabulka č. 24: Zhodnocení návrhu protierozních opatření v povodí Mlýnského potoka metodou USLE 2D, Zdroj: vlastní



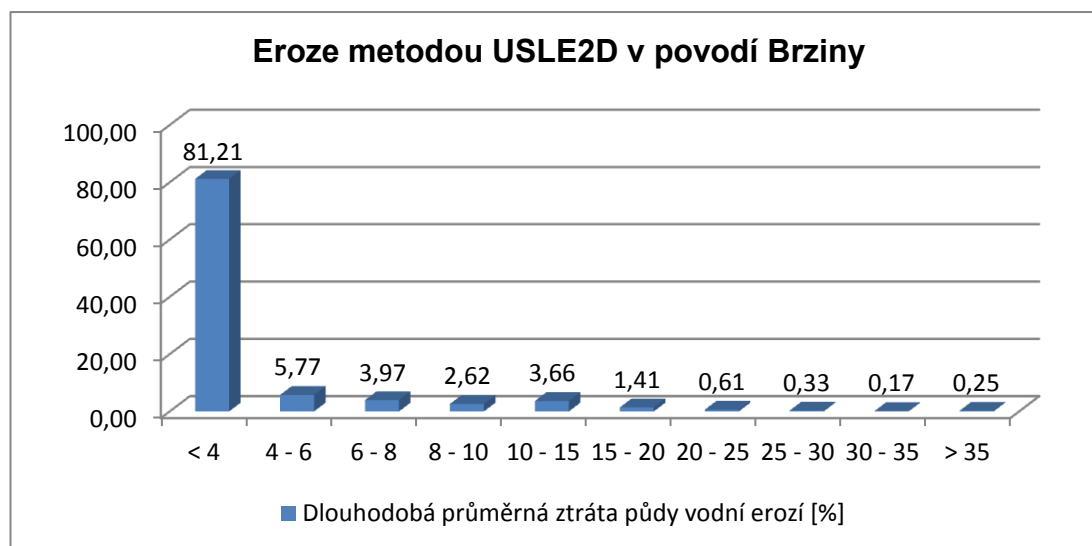
Obr. č. 29: Zhodnocení erozní ohroženosti s návrhem protierozních opatření v povodí Mlýnského potoka metodou USLE 2D, Zdroj: vlastní

V povodí Brziny

Ohrožení v povodí Brziny se poměrně dost zmenšilo po použití technických opatření. To je především kvůli použití těchto opatření na území tohoto povodí. Díky použití těchto opatření byla snížena erozní ohroženost do povoleného limitu pod 4 tuny na území 8 ha. Rozloha velmi ohrožených oblastí se také po použití průlehu snížila.

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy [t.ha⁻¹.rok⁻¹]	Na ploše [ha]	Podíl plochy %
< 4	494,96	81,21
4 - 6	35,18	5,77
6 - 8	24,19	3,97
8 - 10	15,97	2,62
10 - 15	22,32	3,66
15 - 20	8,59	1,41
20 - 25	3,70	0,61
25 - 30	2,00	0,33
30 - 35	1,07	0,17
> 35	1,52	0,25
Celkem	609,49	

Tabulka č. 25: Zhodnocení návrhu protierozních opatření v povodí Brzina metodou USLE 2D, Zdroj: vlastní



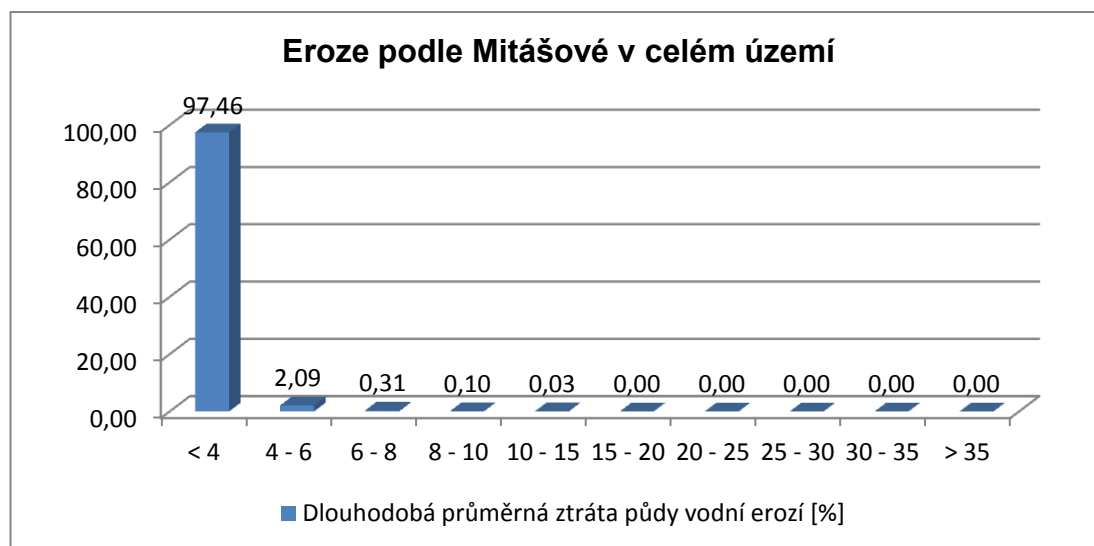
Obr. č. 30: Zhodnocení erozní ohroženosti s návrhem protierozních opatření v povodí Brzina metodou USLE 2D, Zdroj: vlastní

6.2.2 Zhodnocení podle Mitášové

V metodě hodnocení podle Mitášové se z pohledu na celé zájmové území plocha erozně ohrožených pozemků moc nezměnila. V průměru spočítaného z obou povodí se jedná o snížení dlouhodobé průměrné ztráty pod povolený limit na 10 ha. Oblasti ohrožené odtokem více než 20 tun se však již na celém území nevyskytují, mírnější stupně ohrožení se také značně snížily.

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	Na ploše [ha]	Podíl plochy %
< 4	1190,86	97,46
4 - 6	25,59	2,09
6 - 8	3,84	0,31
8 - 10	1,19	0,10
10 - 15	0,41	0,03
15 - 20	0,02	0,00
20 - 25	0,00	0,00
25 - 30	0,00	0,00
30 - 35	0,00	0,00
> 35	0,00	0,00
Celkem	12298,86	

Tabulka č. 26: Zhodnocení návrhu protierozních opatření v celém území podle Mitášové, Zdroj: vlastní



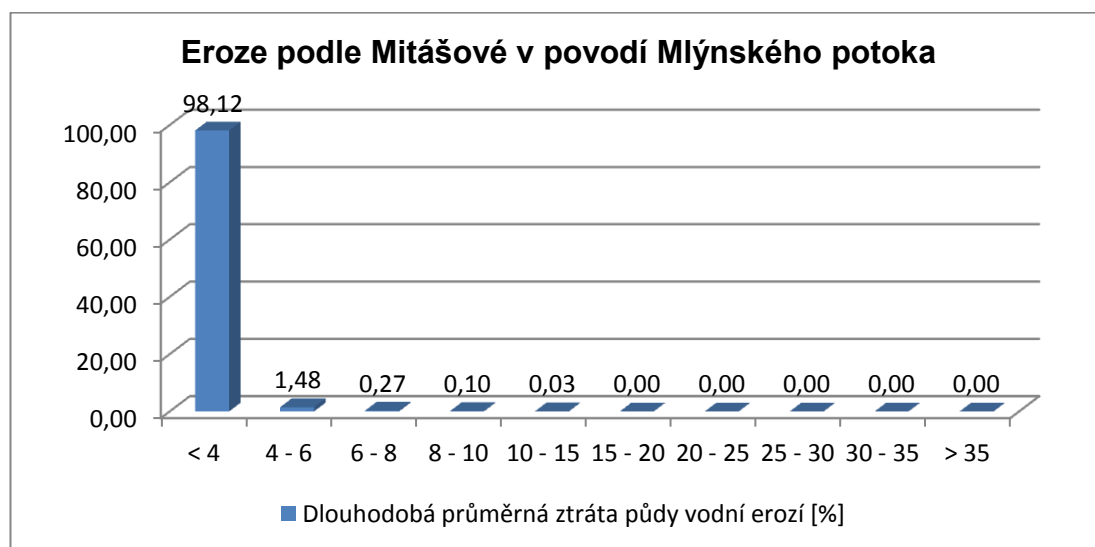
Obr. č. 31: Zhodnocení erozní ohroženosti s návrhem protierozních opatření v celém území podle Mitášové, Zdroj: vlastní

V povodí Mlýnského potoka

Erozní ohroženost se na území povodí Mlýnského potoka v podstatě nezměnila. Maximální rozdíl změny je zvětšení rozlohy erozně neohrožených pozemků o 2 ha.

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy [t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	Na ploše [ha]	Podíl plochy %
< 4	606,22	98,12
4 - 6	9,13	1,48
6 - 8	1,68	0,27
8 - 10	0,63	0,10
10 - 15	0,19	0,03
15 - 20	0,02	0,00
20 - 25	0,00	0,00
25 - 30	0,00	0,00
30 - 35	0,00	0,00
> 35	0,00	0,00
Celkem	617,86	

Tabulka č. 27: Zhodnocení návrhu protierozních opatření v povodí Mlýnského potoka podle Mitášové, Zdroj: vlastní



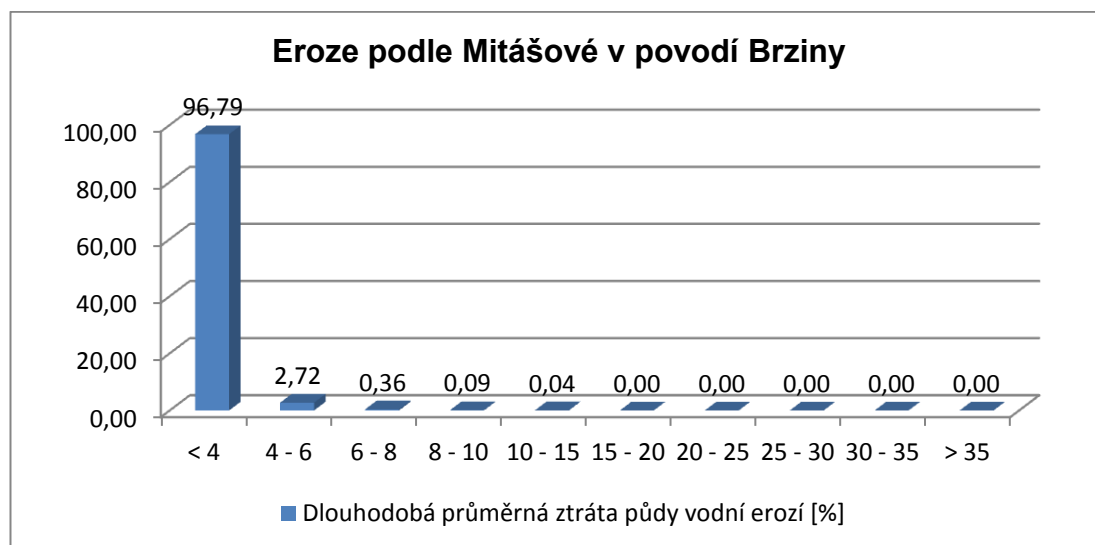
Obr. č. 32: Zhodnocení erozní ohroženosti s návrhem protierozních opatření v povodí Mlýnského potoka podle Mitášové, Zdroj: vlastní

V povodí Brziny

V území povodí Brziny se erozní značně snížila. Pod limit erozní ohroženosti se po použití technických protierozních opatření přidalo více než 10 ha. Více ohrožená území se rozlohou také značně snížila. Podařilo se také zabránit dlouhodobé průměrné ztrátě půdy vyšší než 15 tun na celém řešeném území.

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy [t.ha⁻¹.rok⁻¹]	Na ploše [ha]	Podíl plochy %
< 4	584,64	96,79
4 - 6	16,45	2,72
6 - 8	2,16	0,36
8 - 10	0,56	0,09
10 - 15	0,22	0,04
15 - 20	0,00	0,00
20 - 25	0,00	0,00
25 - 30	0,00	0,00
30 - 35	0,00	0,00
> 35	0,00	0,00
celkem	604,03	

Tabulka č. 28: Zhodnocení návrhu protierozních opatření v povodí Brzina podle Mitášové, Zdroj: vlastní



Obr. č. 33: Zhodnocení erozní ohroženosti s návrhem protierozních opatření v povodí Mlýnského potoka podle Mitášové, Zdroj: vlastní

6.2.3 Zhodnocení erozní ohroženosti odtokovými liniemi

Při kontrolních výpočtech metodou odtokových linií nedošlo na řešených pozemcích k překročení povoleného limitu erozní ohroženosti, to je hodnota 4 tuny. Některé z mírněji ohrožených údolnic musely být zatravněny kvůli mělkým půdám na řešeném pozemku. U údolnic O a U byla erozní ohroženost vyřešena průlehy. U údolnic s velmi vysokým ohrožením či s průměrným sklonem nad 15% bylo navrženo zatravnění.

Pozemek	Údolnice	S	L	C	K	P	R	G
2703	A	0,744	3,427	0,06	0,40	1	40	2,47
2703	B	0,704	3,650	0,06	0,34	1	40	2,11
2707/1	C	1,323	2,367	0,06	0,23	1	40	1,73
2707/1	D	1,832	2,964	0,06	0,32	1	40	0,07
0501/5	E	2,923	2,326	0,06	0,41	1	40	0,55
0501/5	F	2,119	3,192	0,06	0,40	1	40	0,54
0501/5	G	1,231	3,084	0,06	0,41	1	40	3,74
0501/5	H	2,473	1,976	0,06	0,31	1	40	3,68
0501/5	I	2,080	2,044	0,06	0,35	1	40	0,30
0501/5	J	2,554	5,459	0,06	0,41	1	40	1,14
8502/1	K	1,549	3,879	0,06	0,39	1	40	0,46
8502/1	L	1,415	5,290	0,06	0,40	1	40	3,91
8502/1	M	0,820	3,519	0,06	0,31	1	40	2,15
9605/2	N	2,439	4,271	0,06	0,31	1	40	0,65
9606	O I	1,529	2,558	0,06	0,41	1	40	3,85
9606/1	O II	1,465	1,581	0,06	0,41	1	40	2,28
9606	O III	1,503	1,833	0,06	0,41	1	40	2,71
9606	P	1,998	2,989	0,06	0,41	1	40	0,49
6607	Q	2,246	4,544	0,06	0,16	1	40	0,33
6607	R	3,225	3,002	0,06	0,16	1	40	0,31
9605/1	S	2,622	6,802	0,06	0,31	1	40	1,10
9605/1	T	1,785	4,075	0,06	0,37	1	40	0,54
8606	U I	1,522	2,993	0,06	0,31	1	40	1,56
8606	U II	1,590	2,434	0,06	0,41	1	40	0,32
9511/1	V	1,766	3,470	0,06	0,43	1	40	1,07
0606/1	W	1,696	4,566	0,06	0,39	1	40	0,60

Tabulka č. 29: Zhodnocení erozní ohroženosti po návrhu protierozních opatření pomocí odtokových linií, Zdroj: vlastní

7 DISKUZE

V této práci byla hodnocena erozní ohroženost pomocí tří výpočetních metod pro vzájemné porovnání výsledků výpočtů. Každá z těchto metod provádí výpočet klíčového faktoru LS, reliéfu terénu, rozdílným způsobem.

V univerzální rovnici USLE je celý výpočet prováděn jako hodnocení erozní ohroženosti na odtokové linii. Tento výpočet byl prováděn podle Janečka (2008). Hodnoty konstant v rovnicích byly odborně vypočítané metodou pokusných měření a byly sestaveny do tabulek, na jejichž základě jsou vypočítávány dílčí faktory. Všechna stanovená data jsou poté vkládána do rovnic s hodnocenými daty. Stanovení erozní ohroženosti na silně konkávních kopcích, které v rámci GIS prostředí vyšly jako silně ohrožené, nebylo možné hodnotit odtokovými liniemi pomocí rovnice USLE.

Geoinformační systémy provádějí výpočty erozní ohroženosti na základě plošných měření. Pokud by se tedy použila stejná metodika pro výpočet faktorů LS jako při počítání údolnic, získali bychom opět chybná data. Proto byly postupně vypočítávány nové algoritmy a vyvíjeny nové programy pro výpočet tohoto klíčového faktoru. Jedním z těchto programů je právě Usle 2D.

Katolická univerzita Leuven v Belgii postupně vytvořila program Usle 2D. V této metodě výpočtu byl vyměněn výpočet na základě délky svahového odtoku údolnice za plochu, ze které je voda sváděna do daného bodu (VAN OOST, 2000). V tomto programu však již nebyla zohledněna možnost sedimentace půdy na některých méně sklonitých místech.

Inženýrka Mitášová (1998) vypočítává faktor LS na základě sklonitosti pozemku a akumulací vody. Sklonitost pozemku je řešená ve všech zmíněných metodách stejným způsobem. Rozdílem v této metodě je tedy vliv akumulace vody na výpočty erozní ohroženosti na řešeném území. Samotná akumulace se zjišťuje podle směru odtoku vody. Vrstva akumulace vody tak vlastně nese data o velikosti plochy, ze které voda přitéká do daného bodu.

Obě metody v GIS prostředí tedy vypočítávají faktor LS stejným způsobem, měřením plochy, ze které je voda do hodnoceného území vedena. Metoda USLE 2D používá více plošnou metodu a širší oblast působnosti. Mitášová tyto údaje získává

na základě směru odtoku vody a výsledek tak není tak plošně hodnocen. Výstupná vrstva faktoru LS se skládá z plošně zastoupených malých odtokových linií. Výsledek erozní ohroženosti tak udává především místa soustředěného odtoku vody.

Dalších metodik výpočtu LS faktoru bylo až dodnes vypracováno mnoho, žádná simulace však nemůže nahradit skutečnost. V digitálních modelech reliéfu budou vždy nějaké chyby, jemné odchylky a nepřesnosti.

Manuální zpracování erozní ohroženosti rovnicí USLE sestavenou pány Wischmeierem a Smithem je jedna z nejpřesnějších metod, avšak i tady mohou ve výjimečných případech nastat chyby nebo mírné nepřesnosti.

Pro zhodnocení skutečné erozní ohroženosti je tedy vhodné použít několika různých metod a výsledky mezi sebou porovnat. Na základě způsobu výpočtu eroze jednotlivých metod, jejich zaměření na některé problematiky a znalost míst jejich nepřesností tak můžeme získat přesnější představu o erozní ohroženosti řešeného území.

Na základě získaných výsledků poté můžeme navrhnout nejvhodnější protierozní opatření. Základem protierozní ochrany je volba vhodných plodin pro pěstování na daném území a způsob jejich obhospodařování. V dnešní době se již téměř na všech sklonitých územích orají, hnojí a zasévají plodiny směrem po vrstevnicích. Nejohroženější části, údolnice a strmé svahy, se především zatravnějí. Dalším velmi používaným organizačním opatřením je vhodné uspořádání plodin na používaných pozemcích. Z technických protierozních opatření jsou poté nejpoužívanější průlehy (KARSKÁ, 2014).

Na základě zmíněných informací tedy byly v zájmovém území navrženy oblasti pro zatravnění a umístění průlehů na dlouhých svazích. Erozní ohroženost po použití protierozních opatření vyšla na celém území minimální rozlohy.

8 ZÁVĚR

Výpočty byla zhodnocena situace současného stavu erozní ohroženosti v blízkosti Krásné Hory nad Vltavou. Na základě získaných dat byly provedeny návrhy protierozních opatření a opětovnými výpočty byl vypracován konečný návrh protierozních opatření.

Výsledky uvedly za použití normálního osevního postupu vysokou rozlohu erozně ohrožených ploch. Po použití navrženého protierozního postupu se rozloha erozně ohrožených ploch výrazně snížila. Podle provedených kontrolních výpočtů však protierozní osevní postup nebyl dostačujícím organizačním protierozním opatřením a bylo navrženo zatravnění některých území. Po opětovném přepočtu erozního ohrožení se erozní ohrožení opět značně snížilo, některá území však byla stále vystavena silné erozi. Jako další možnost zmenšení erozní ohroženosti byly navrženy průlehy. Po přepočítání erozní ohroženosti s navrženým umístěním průlehů byla opět snížena rozloha extrémně ohrožených území.

Celková rozloha zemědělsky využívaných pozemků na zájmovém území je 1229 ha. Z původně 524 ha erozí ohroženého území se použitím protierozních opatření snížila rozloha těchto ploch podle metody USLE2D na 181 ha a podle Mitášové na 39 ha.

Získané výpočty mohou být použity jako podkladová data pro další hodnocení území nebo tvorbu nových protierozních návrhů.

Vytvořená data budou poskytnuta Českému úřadu zeměměřickému a katastrálnímu.

9 LITERATURA

- BERANOVÁ M., KOBAČÁK A., 2010: Dějiny zemědělství v Čechách, na Moravě a ve Slezsku, Libri, Praha, 500 s.
- BORŮVKA, L., VALLA, M., KOZÁK, J., NĚMEČEK, J., MATULA, S., DRÁBEK, O., 2004: Pedologické praktikum, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 148 s.
- DUMBROVSKÝ M., DOLEŽAL P., PAVLÍK M., MEZERA J., STŘÍTECKÝ L., MARTÉNEK J., 2009: Metodický návod k provádění pozemkových úprav, Ministerstvo zemědělství – Ústřední pozemkový úřad, Praha, 125 s.
- HILLEL, D., 2011: Introduction to environmental soil physics, CPI Group (UK) Lrd, Croydon, 494 s.
- HOLÝ M., 1994: Eroze a životní prostředí. ČVUT, Praha, 383 s.
- HURYCH V., 2003: Okrasné dřeviny pro zahrady a parky, Květ nakladatelství Českého zahrádkářského svazu, Praha, 204 s.
- JANEČEK, M., 2012: Ochrana zemědělských půd před erozí, Powerprint s.r.o., Praha, 113 s.
- JUNAKOVA, N., KLESCOVA, Z., GERGLOVA, M., HOLUB, M., 2014: The Influence of Topographical Factor Calculation on the Estimation of Water Erosion Intensity Using Geographical Information Systems, The 9th Conference „Environmental Engineering“, VGTU Press, Vilnius, 6 s.
- KARSKÁ, E., 2014: Research in Agricultural Engineering, Czech Academy of Agricultural Sciences, Praha, 367 s.
- KHOSROWPANAH, S., HEITZ, L.F., WEN, Y., PARK, M., 2007: Developing a GIS-based erosion potential model of the Ugum watershed, Water and environmental research institute of the Western Pacific University of Guam, UOG Station, 96 s.
- KLIMEŠOVÁ, D. 2006: Geografické informační systémy a zpracování obrazů, Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta, Praha, 92 s.
- LYON, J. G., 2003: GIS for Water Resources and Watershed Management, CRC PRESS, London, 255 s.
- MARADOVÁ, S., MARADA, P., 2013: Protierozní ochranná opatření v zemědělské krajině. Šetrné hospodaření v krajině a územích soustavy NATURA 2000
- MAŠÁT, K., NĚMEČEK, J., et al, 2002, Metodika vymezení a mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek, VÚMOP Praha, Praha, 113 s.
- MITASOVA H., MITAS L., BROWN W. M., JOHNSTON D., 1998: Multidimensional soil erosion/deposition modeling and visualization using

- GIS, Final report for U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories S.Warren, University of Illinois, Urbana-Champaign, IL.
- NOVOTNÝ, I., 2013: Metodika mapování a aktualizace bonitovaných půdně ekologických jednotek, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 172 s.
- OLIVEIRA, P. T. S. et al, Use of SRTM data to calculate the (R)USLE topographic factor, *Acta Scientiarum. Technology*, July-September 2013, roč. 35, č. 3, s. 507-513.
- SCHMIDT J., 2000: Soil erosion - application of physically based models, Springer, Berlin, 340 s.
- SKLENIČKA, P., 2003: Základy krajinného plánování, Naděžda Skleničková, Praha, 321 s.
- ŠARAPATKA, B., 2014: Pedologie a ochrana půdy, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 240 s.
- TOLASZ R. [eds.], 2007: Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Olomouc, 255 s
- TOLLINGEROVÁ, D., 1996: GIS Geografické informační systémy, Josef Kleinwächter, Frýdek-Místek, 25 s.
- VANĚK, V., et al., 2007: Výživa zahradních a polních plodin. Profi Press s.r.o., Praha, 176 s.
- VANĚK, V., TLUSTOŠ, P., NĚMEČEK, R., 1998: Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny, Farmář – Zemědělské listy, Praha, 124 s.
- VAŠKŮ Z., 2012: Základní druhy průzkumů pro krajinné inženýrství, využívání a ochrana krajiny. Česká zemědělská univerzita, Praha, 400s.
- VIEUX, B. E., 2004: Distributed hydrologic medeling using GIS, Kluwer Academic Publishers, Norwell USA, 289 s.
- VLASÁK J., BARTOŠKOVÁ K., 2007: Pozemkové úpravy, ČVUT, Praha, 168 s.
- VOREL I., KUPKA J., 2011: Krajinný ráz: identifikace a hodnocení, České vysoké učení technické, Praha, 147 s.
- WESTERVELT, J., 2001: Simulation modeling for watershed management, Springer-Verlag, New York, 186 s.
- WISE S., 2014: GIS Fundamentals, Taylor & Francis Group, London, 322 s.
- WISCHMEIER W. H., SMITH D. D., 1978: Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide Book to Conservation Planning. Agr. Handbook No. 537, US. Dept. Of Agriculture, Washington

Internetové zdroje

- AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY A KRAJINY ČESKÉ REPUBLIKY, 2012: Aplikace MapoMat. Online: <http://mapy.nature.cz/>, cit. 5.3.2015
- ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, 2015: Mapové aplikace. Online: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>, cit: 20.4.2015
- ČÚZK, 2015: ZABAGED. Český úřad zeměměřický a katastrální, Online: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(11grg311bcsnwdeo04vr4ji2\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24](http://geoportal.cuzk.cz/(S(11grg311bcsnwdeo04vr4ji2))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24), cit. 6.11.2014
- ESRI, 2012: ArcGIS Help 10.1. Online: <http://www.esri.com>. cit. 10.4.2014.
- GEOGRAPHY K.U. LEUVEN, 2000: USLE2D Homepage. online: <http://geo.kuleuven.be/geography/modelling/erosion/usle2d/>. cit.: 20.4.2014
- HRUBAN, R., 2007: Geomorfologické procesy, moravské karpáty. Online: http://moravske-karpaty.php5.cz/priroda_soubory/geomorfologie/geomorfologie_procesy.htm, cit. 20.4.2015
- KADLEC J., 2006: Výpočet LS-faktoru (RUSLE) s využitím GIS a USLE2D, Online: http://data.plaveniny.cz/download/rusle/ls_faktor_arcgis.pdf, cit. 10.4.2014
- MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2012: LPIS – veřejný registr půdy, eAGRI. Online: <http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny/>, cit. 10.1.2015
- MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2012: Public LPIS – veřejná část aplikace LPIS Uživatelská příručka Online: http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny/static/help/public_lpis.pdf, cit. 15.3.2015
- PELTON, J., FRAZIER, E., POCKILINGIS, E., 2014: Calculating Slope Length Factor (LS) in the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Online: http://gis4geomorphology.com/wp-content/uploads/2014/05/LS-Factor-in-RUSLE-with-ArcGIS-10.x_Pelton_Frazier_Pickilingis_2014.docx, cit: 4.4.2015
- VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA, 2014: DIBAVOD, databáze kategorie vodstvo pro ZABAGED, Oddělení geografických informačních systémů kartografie. Online: <http://www.dibavod.cz/index.php?id=27>, cit. 6.11.2014
- VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, V. V. I., 2015: Geoportál SOWAC-GIS. Online: <http://geoportal.vumop.cz/>, cit. 2.12.2014
- VAN OOST K., GOVERS C., 2000: Usle 2D, Katholieke Universiteit Leuven. Online: <http://www.kuleuven.be/geography/frg/modelling/erosion/usle2dhome/references/index.htm>, cit. 10.3.2015