

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ



VYHODNOCENÍ POVODÍ JEŠTĚDKY, RAŠOVKY A SMRŽOVSKÉHO
POTOKA Z HLEDISKA EROZNÍ OHROŽENOSTI V PROSTŘEDÍ
GEOGRAFICKÝCH INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Eva Drahoňovská, DiS.

Autor: Bc. David Patócs

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. David Patócs

Voda v krajině

Název práce

Vyhodnocení povodí Ještědky, Rašovky a Smržovského potoka z hlediska erozní ohroženosti v prostředí geografických informačních systémů

Název anglicky

Evaluation of erosion threat in catchments of Ještědka, Rašovka and Smržovský watercourses using geographical information systems

Cíle práce

Cílem diplomové práce je zhodnotit ve vybraném území současné ohrožení vodní erozí prostředky GIS. Na základě této analýzy diplomant navrhne vhodná protierozní opatření a vyhodnotí předpokládanou účinnost těchto protierozních opatření na erozní ohroženost území. Formulace dílčích cílů je úkolem autora práce.

Metodika

Řešitel provede analýzu a zhodnocení míry erozní ohroženosti povodí IV. řádu. Zájmovým územím je celé povodí Ještědky (čísla hydrologického pořadí 1-05-02-041, 1-05-02-043 a 1-05-02-045), povodí Rašovky (číslo hydrologického pořadí 1-05-02-042) a povodí Smržovského potoka (číslo hydrologického pořadí 1-05-02-044). Zkoumána bude současná situace a modelový scénář, který by nastal při realizaci protierozních opatření (organizačních, agrotechnických, popř. technických). Při řešení problematiky bude jako hlavního nástroje využito geografických informačních systémů, především softwaru ArcGIS. Součástí práce bude zhodnocení použité metodiky pro řešení případové studie tohoto typu. Řešitel zpracuje literární rešerši k oběma dílčím tématům (eroze a GIS), přičemž hlavní důraz bude kladen na využití GIS pro analýzu erozní ohroženosti.

Závěr práce bude obsahovat zhodnocení, které konkrétní řešení erozní ohroženosti by bylo v řešeném území optimální.

Doporučený rozsah práce

40 – 60 stran.

Klíčová slova

Navržení klíčových slov je úkolem autora práce.

Doporučené zdroje informací

Dokumentace k použitým programovým prostředkům.

Dumbrovský M., Mezera J., Střítecký L., 2004: Metodický návod pro vypracování návrhů pozemkových úprav. Českomoravská komora pozemkových úprav, Praha.

Janeček M., 2008.: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Janeček M., 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha.

Podhrázká J., Dufková J., 2005: Protierozní ochrana půdy. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.

Podhrázká J., 2009. : Návrh a hodnocení účinnosti systému komplexních opatření v pozemkových úpravách pro snížení škodlivých účinků povrchového odtoku. VÚMOP, v.v.i., Praha.

Rapant P. 2006: Geoinformatika a geoinformační technologie. VŠB-TU Ostrava.

Sklenička P., 2003: Základy krajinného plánování. Vydavatelství Naděžda Skleničková, Praha.

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Eva Drahoňovská, DiS.

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2015

Ing. Petra Šimová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 26. 3. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 02. 04. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Evy Drahoňovské, DiS. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. Všechna data, která mi byla poskytnuta, jsem využil pouze pro účely této práce.

V Praze dne 21. 4. 2015

.....

David Patócs

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Evě Drahoňovské, DiS., za trpělivost, podporu, odbornost při vedení, velmi cenné rady a připomínky a za materiály poskytnuté ke zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za finanční zázemí a podporu po celou dobu mých studií. Díky patří také mé přítelkyni Kláře, která mi byla oporou při psaní této práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na posouzení ohroženosti vodní erozí na pěti vybraných povodích IV. řádu hydrologického pořadí 1-05-02-041 až 1-05-02-045. Povodí se nachází v Libereckém kraji okolo města Český Dub.

Rešeršní část popisuje v adekvátním rozsahu problematiku tvorby digitálních modelů reliéfu, zdroje a způsoby získání dat, metody interpolace těchto dat a jejich formy prezentace v podobě DMR. Dále jsou zmíněna dostupná digitální data v rámci v ČR.

Druhá polovina teoretické části se zabývá procesy vodní eroze, jejími druhy a možnou ochranou před vodní erozí v podobě protierozních opatření. Podrobněji je popsána metoda hodnocení ohroženosti vodní erozí rovnicí USLE, zmíněny jsou také další metody hodnocení. Následuje aplikace metody USLE do prostředí GIS v podobě rastrových analýz, s využitím programů ArcGIS a USLE 2D.

V praktické části je uplatněna metoda USLE s využitím programů ArcGIS a USLE 2D. Podrobně je popsán postup tvorby gridů faktorů rovnice USLE, při současném stavu a pro navržená protierozní opatření. Na základě těchto gridů bylo provedeno hodnocení erozní ohroženosti a ověřena účinnost navržených protierozních opatření. Veškeré výpočty jsou provedeny ve dvou variantách pro různé typy DMR. Nakonec byl proveden kontrolní výpočet ztráty půdy na vybrané parcele, použitím metody USLE matematicky.

Klíčová slova:

GIS, ArcGIS, USLE, USLE 2D, digitální model reliéfu, vodní eroze, protierozní opatření, ztráta půdy

Abstract

This diploma thesis focuses on endangerment evaluation of water erosion on five chosen catchments of the IV. order of hydrological order 1-05-02-041 to 1-05-02-045. The Catchmen area is situated in the Liberec area around the Český Dub city.

The research part of the diploma thesis describes, in adequate range, the problems of creating the digital elevation models, sources and methods of obtaining data, methods of interpolation of these data and their forms of presentation in the DTM form. Also, in my thesis there are mentioned available digital data provided in the Czech Republic.

The second part of the theoretical part focuses on water erosion processes, its types and possible protection against water erosion in the form of anti-erosion measure. In detail, there is described a method of the evaluation of endangerment by water erosion through USLE equation, there are also mentioned another valuation methods in my thesis. The next step is a implementation of the USLE method into the GIS area in the form of raster analysis and using ArcGis and USLE 2D programmes.

In the practical part of the thesis there is applied the USLE method by means of ArcGIS and USLE 2D programmes. Being more detailed there is described the creating grids process of the factors of USLE equation during contemporary condition and after anti-erosion proposals. Based on these grids were evaluated erosion risks and the effectiveness of the proposed anti-erosion measures. All the calculations are made in two runs for different types of DTM. The mathematical check calculation of soil loss on the chosen plot was made using USLE method in the end of my diploma thesis.

Key words:

GIS, ArcGIS, USLE, USLE 2D, digital terrain model, water erosion, anti-erosion measures, soil loss

1.	ÚVOD	11
2.	CÍLE PRÁCE	12
3.	SEZNAM ZKRATEK	13
4.	DIGITÁLNÍ MODELY	14
4.1.	DIGITÁLNÍ MODEL RELIÉFU	14
4.2.	ZDROJE DAT PRO TVORBU DMR.....	15
4.3.	DRUHY DATOVÉ PREZENTACE DMR.....	15
4.3.1.	<i>Polyedrický model</i>	15
4.3.2.	<i>Plátový model</i>	16
4.3.3.	<i>Rastrový model</i>	16
4.3.4.	<i>Srovnání druhů prezentace DMR</i>	17
4.4.	INTERPOLACE	17
4.4.1.	<i>Metoda IDW (Inverse distance weighted)</i>	17
4.4.2.	<i>Spline</i>	18
4.4.3.	<i>Kriging</i>	18
4.4.4.	<i>Topo to raster</i>	18
4.5.	DMR A VÝŠKOVÁ DATA DOSTUPNÁ V ČR.....	18
4.5.1.	<i>Digitální model reliéfu 4. generace</i>	19
4.6.	VYUŽITÍ GIS V OBLASTI DMR	19
5.	EROZE	21
5.1.	VODNÍ EROZE.....	21
5.1.1.	<i>Příčiny vodní eroze</i>	22
5.1.2.	<i>Důsledky vodní eroze</i>	22
5.2.	OPATŘENÍ PROTI VODNÍ EROZI	22
5.2.1.	<i>Organizační opatření</i>	23
5.2.2.	<i>Agrotechnická opatření</i>	24
5.2.3.	<i>Technická opatření</i>	24
5.3.	HODNOCENÍ OHROŽENOSTI VODNÍ EROZÍ METODOU USLE	27
5.3.1.	<i>Faktor erozní účinnosti deště – R</i>	27
5.3.2.	<i>Faktor erodovatelnosti půdy – K</i>	27
5.3.3.	<i>Topografické faktory délky a sklonu svahu- L a S</i>	28
5.3.4.	<i>Faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu – C</i>	28
5.3.5.	<i>Faktor účinnosti protierozních opatření – P</i>	28
5.3.6.	<i>Posouzení ohroženosti vodní erozí</i>	28
5.4.	OSTATNÍ METODY HODNOCENÍ OHROŽENOSTI VODNÍ EROZÍ	29
5.5.	HODNOCENÍ EROZNÍ OHROŽENOSTI V PROSTŘEDÍ GIS	30
5.5.1.	<i>Použití a převod dat</i>	30
5.5.2.	<i>Metoda USLE</i>	30

5.5.3.	Meze platnosti hodnocení dle USLE	31
6.	CHARAKTERISTIKA ŘEŠENÉHO ÚZEMÍ.....	32
6.1.	LOKALIZACE POVODÍ	32
6.2.	HYDROLOGICKÉ POMĚRY	33
6.3.	KLIMATICKÉ POMĚRY	33
6.4.	GEOMORFOLOGIE	34
6.5.	GEOLOGIE	35
6.6.	PEDOLOGIE	36
6.7.	VYUŽITÍ ÚZEMÍ	37
6.8.	EROZNÍ OHROŽENOST	38
6.9.	SKLONITOST A EXPOZICE	39
7.	METODIKA.....	41
7.1.	VSTUPNÍ DATA.....	41
7.2.	ZPRACOVÁNÍ VSTUPNÍCH DAT.....	41
7.3.	POUŽITÉ DIGITÁLNÍ MODELY RELIÉFU	42
7.3.1.	Tvorba DMR-V	42
7.3.2.	Získání DMR-4G.....	42
7.4.	PŮDNÍ BLOKY	43
7.5.	ROVNICE USLE SOUČASNÝ STAV.....	44
7.5.1.	<i>K faktor</i>	44
7.5.2.	<i>R faktor</i>	44
7.5.3.	<i>C faktor</i>	44
7.5.4.	<i>P faktor</i>	45
7.5.5.	<i>LS faktor</i>	45
7.5.6.	<i>Roční ztráta půdy G</i>	47
7.5.7.	<i>Přípustná ztráta</i>	48
7.6.	ROVNICE USLE PO NÁVRHU PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ	50
7.6.1.	<i>K faktor</i>	50
7.6.2.	<i>R faktor</i>	50
7.6.3.	<i>C faktor</i>	50
7.6.4.	<i>P faktor</i>	51
7.6.5.	<i>LS faktor</i>	51
7.6.6.	<i>Roční ztráta půdy G po návrhu PEO</i>	52
7.6.7.	<i>Přípustná ztráta po návrhu PEO</i>	52
7.7.	MANUÁLNÍ VÝPOČET NA VYBRANÉ PARCELE	53
8.	VÝSLEDKY	55
8.1.1.	<i>Srovnání ztrát půdy</i>	55
8.1.2.	<i>Srovnání přípustné ztráty půdy</i>	56

8.1.3. Srovnání ztráty a přípustné ztráty půdy na vybrané parcele.....	57
9. DISKUSE.....	59
10. ZÁVĚR	61
11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	62
12. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	65
13. SEZNAM PŘÍLOH	67

1. ÚVOD

Půda je neobnovitelným přírodním zdrojem a pro všechny státy znamená to nejcennější bohatství. Její degradace vodní erozí má negativní vliv na životní prostředí, na produkční i mimoprodukční funkce. Vodní eroze odnáší organické a minerální částice půdy, zanáší vodní nádrže a toky, ohrožuje obce a města. (Novotný et al. 2014)

Česká republika je vodní erozí ohrožena až na 50% půdy a na většině z nich nedochází k provádění účinné ochrany za cílem omezit ztrátu půdy. Největší příležitost k uplatnění ochrany půdy před erozí spočívá v provádění komplexních pozemkových úprav a v plánech společných zařízení. V rámci těchto úprav lze uplatnit velké množství ochranných prvků, ovšem je zde předpoklad spolupráce se zemědělskými subjekty. (Janeček et al. 2012)

Eroze a celkově oblast životního prostředí je historicky první problematikou, kde byly využity služby geografických informačních systémů. Geografické informační systémy jsou funkčním celkem, který pomocí geoinformačních technologií získává, ukládá, zpracovává a umožňuje přístup ke geodatům a geoinformacím. Díky GIS tak mohou být automatizovány určité činnosti, analýzy eroze nevyjímaje. (Rapant 2006)

Jedna z klíčových geoinformačních technologií, nejen pro hodnocení eroze, je prezentace reliéfu terénu pomocí digitálních modelů reliéfu v prostředí GIS. Reliéf je tímto možné v digitální formě zobrazovat, analyzovat a využívat mnoho informací. (Rapant 2006)

Tato práce poukazuje na jednu z možností, jak řešit hodnocení ohroženosti vodní erozí v prostředí geografických informačních systémů, s pomocí digitálních modelů reliéfu. Spojením těchto tří oblastí je možné výrazně zefektivnit přístup k řešení a navrhování opatření pro ochranu tak cenné věci jakou půda je.

2. CÍLE PRÁCE

Tato práce má za hlavní cíle:

- výstižný popis problematiky digitálních modelů terénu, vodní eroze a protierozních opatření, vybraných metod hodnocení ohroženosti vodní erozí a jejich aplikace do prostředí geografických informačních systémů;
- vyhodnocení ohroženosti vodní erozí za současné situace ve dvou variantách, s použitím dvou vybraných digitálních modelů terénu;
- navržení protierozních opatření organizačního, agrotechnického, popř. technického charakteru a vyhodnocení jejich účinnosti, rovněž ve dvou variantách;
- vybrání vzorové parcely ohrožené vodní erozí dle výpočtu v GIS a její vyhodnocení manuální matematickou metodou;
- porovnání výsledků všech variant.

3. SEZNAM ZKRATEK

ArcGIS – program firmy ESRI pro práci v geografických informačních systémech

BPEJ – bonitované půdně ekologické jednotky

ČÚZK – Český úřad zeměměřičský a katastrální

DMR – digitální model reliéfu

DMT – digitální model terénu

DTM – digital terrain model

GIS – geografické informační systémy

GPS – global positioning system

HPJ – hlavní půdní jednotka

IDW - Inverse distance weighted (metoda interpolace digitálních modelů reliéfu)

LPIS – veřejný registr půdy

S-JTSK - systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

TIN - triangulated irregular network (metoda zobrazení digitálních modelů reliéfu)

TTP – trvalý travní porost

USLE - universal Soil Loss Equation (Universální rovnice ztráty půdy)

VÚMOP – Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy

ZABAGED – základní báze geografických dat

4. DIGITÁLNÍ MODELY

V první řadě je vhodné uvést na pravou míru několik termínů užívaných v oblasti digitálního modelování terénu nebo povrchu.

Digitální model povrchu zobrazuje vše, co lze nalézt na zemském povrchu. Jedná se tedy o zobrazení terénu a všech objektů, staveb, korun stromů apod. (VÚGTK 2015)

Digitální výškový model z anglického názvu „Digital elevation model“, pracuje pouze s body, jež uvádějí hodnotu nadmořské výšky. (VÚGTK 2015) Nejčastěji prezentován rastrové podobě s danou bodovou hustotou. (Oršulák et Pacina 2012)

Digitální model terénu (DMT) či **digitální model reliéfu** (DMR), významově stejné názvy, uvažuje pouze s povrchem terénu bez zobrazení objektů aj. jako je tomu u modelu povrchu. V současnosti je vždy ve formě digitální pro zpracování informačními a komunikačními technologiemi. Skutečný povrch tak lze zobrazit v nekonečně složité podobě s požadovanou podrobností a přesností. (Oršulák et Pacina 2012)

Pro účely práce se budou následující kapitoly dále detailněji zabývat pouze digitálním modelem reliéfu a jeho dalšími formami.

4.1. DIGITÁLNÍ MODEL RELIÉFU

Terén je ve skutečnosti charakteristický svou nepravidelností, místy může být rovný, jindy je tato rovnost narušena liniemi či umělými terénními stupni. Zvláštní skupinu tvoří také vrcholy, sedla, údolnice a hřbetnice, kde se můžeme setkat s pravidelným průběhem, avšak v kolmé ose se mohou ostře zalamovat. Singularity, jak se tyto jevy nazývají, jsou matematicky popsány jako nespojité funkce nebo nespojitost jejich derivací. (Mayer 1995)

Singularity jsou pro matematický popis problémem a je proto vhodné je minimalizovat. Toho dosáhneme dělením modelovaných ploch na menší části, kde povedeme hranici po příslušné singularitě. Tímto se vyřeší překážka v podobě složité terénní plochy za předpokladu přesné geometrické definice. (Urban 1991)

Modelovaná terénní plocha popisuje velké množství dat a rozsah zpravidla nabývá velmi vysokých hodnot, díky čemuž lze dosáhnout poměrně malých převýšení, tzn. rozměry osy x a y mají vyšší hodnoty než osa z. Tuto plochu můžeme vyjádřit jako funkci polohopisných souřadnic x a y, ke které připadá jedna výšková složka z. (Mayer 1995)

4.2. ZDROJE DAT PRO TVORBU DMR

Data pro tvorbu DMR i jejich získání výrazně ovlivňují jeho výslednou kvalitu. Mezi hlavní zdroje, ze kterých vychází tvorba DMR, patří zejména měření prováděná v terénu a zařízení pro dálkový průzkum země. V druhé řadě lze také využít již existující digitální data, případně existující data do digitální formy teprve převést. (Klimánek 2006)

Do nejčastějších způsobů, jak získat údaje potřebné pro vytvoření DMR, lze zahrnout zejména:

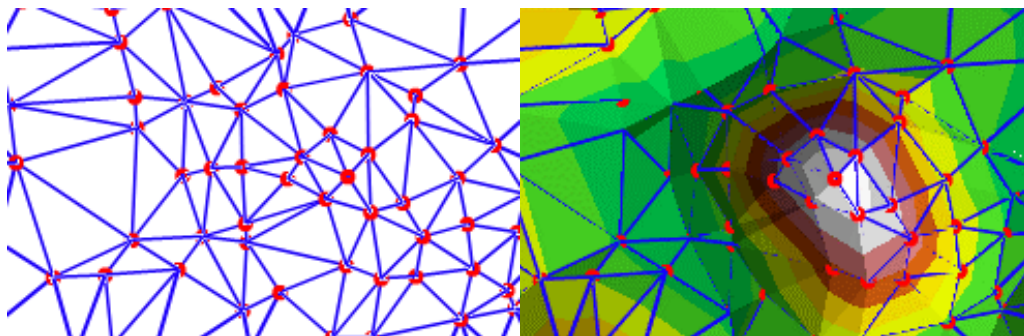
- geodetická měření (zejména tachymetrie);
- letecké laserové skenování;
- měření pomocí GPS;
- fotogrammetrická měření;
- digitalizace výškopisu (ZABAGED);
- záznamy z radarů;
- záznamy z družicových systémů. (Rapant 2006)

4.3. DRUHY DATOVÉ PREZENTACE DMR

4.3.1. Polyedrický model

Elementárními ploškami v podobně nepravidelných rovinných trojúhelníku k sobě připojených stranami je docílen tvar nepravidelného mnohostranu, který těsně přiléhá k reálnému terénu. Vrcholy mnohostranu jsou pak geodeticky měřené souřadnicové body. (Urban 1991)

Jinak řečeno se jedná o nepravidelnou trojúhelníkovou síť, známější v originálním znění jako „*Triangulated irregular network*“ neboli TIN, v dnešní době nejpoužívanější prezentaci DMR v prostředí GIS. (Klimánek 2006)



Obr. 1 Příklad zobrazení TIN (polyedrického) modelu (ESRI 2014)

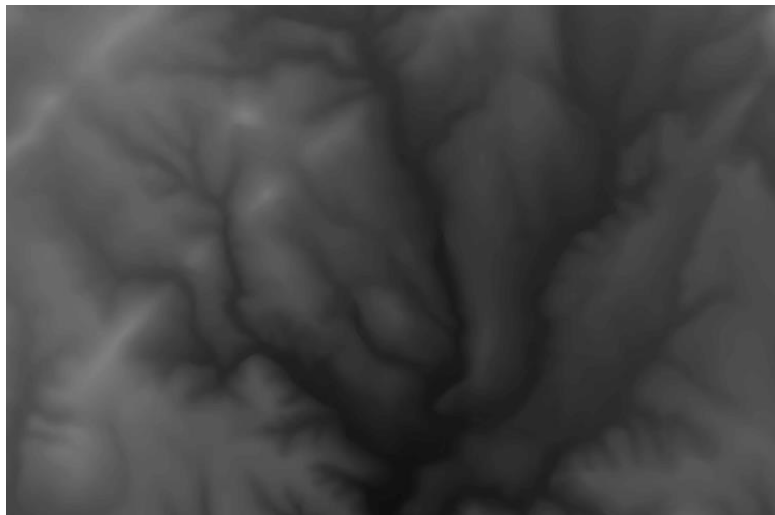
4.3.2. Plátový model

Povrch je rozdělen na nepravidelné plochy trojúhelníkového nebo čtyřúhelníkového tvaru, které zpravidla vykazují určitou křivost a hranice těchto ploch zpravidla vedou po singularitách. (Urban 1991)

Plátové zobrazení povrchu se tvoří pospojováním bodové sítě do trojúhelníků, tzv. triangulací a optimalizací takto vzniklého modelu je možné vybrané hrany trojúhelníků zcela vypustit. Výsledkem jsou čtyř i více úhelníkové modely se vzniklou křivostí v rámci jednoho n-úhelníku. (Klimánek 2006)

4.3.3. Rastrový model

Modely rastru tvoří množina elementárních ploch nad složkami pravidelného rastru. Jedná se o zborcené čtyřúhelníky, dále dělitelné na trojúhelníky či jiné tvarově složitější plochy. Kvalita takového modelu je značně závislá na zvoleném rozlišení rastru a na míře přiléhavosti k reálnému terénu. V místech kde, je terén velmi nepravidelný, je vhodné řešenou plochu rozdělit na několik menších a každou z nich zpracovávat s odlišnou přesností rozlišení. Rozměry rastru udávají hodnoty x , y a z neboli prostorové souřadnice, v čemž spočívá výhoda umístění jednoho bodu do souřadnicového systému, kde se zbývající snadno dopočítají. Mimo to je vhodné znát úhel natočení rastrové sítě, rozměr prvku a matici výškových hodnot jednotlivých bodů. (Mayer 1995)



Obr. 2 Příklad zobrazení rastrového modelu (Zdroj: vlastní)

4.3.4. Srovnání druhů prezentace DMR

Výhodami rastrové prezentace DMR jsou především jejich jednoduchost ukládání, následné aplikace k různým analýzám a snadné zpracování v rastrových databázích. Na druhou stranu pokud je potřeba vyjádřit povrch různou velikostí buněk, není možné použít k řešení právě formy gridu. Různé úrovně rozlišení však umožňují modely trojúhelníkových sítí, které jsou zároveň vhodné co se efektivnosti ukládání dat týče. Zá nevýhody TIN popř. plátových modelů se považují častá optická posouzení a následná ruční přezkoumávání. (Oršulák et Pacina 2012)

4.4. INTERPOLACE

Interpolací bodových či liniových dat se získávají výškové nebo polohové informace v místech, kde neproběhlo měření. (Klimánek 2006) V oblasti DMR se obvykle používají metody IDW, spline a kriging.

4.4.1. Metoda IDW (Inverse distance weighted)

IDW spočívá ve stanovení hodnoty buňky pomocí přilehlých okolních bodů. Každému bodu je přiřazena váha v podobě inverzní hodnoty vzdálenosti ke zjišťovanému bodu. Čím je vzdálenost k bodu nižší, tím je větší váha a následný vliv na hodnotu bodu. (ESRI 2014)

4.4.2. Spline

Spline je interpolační metoda odhadující hodnoty pomocí matematické funkce. Ta minimalizuje zakřivení povrchu, výsledkem je hladký povrch, který prochází vstupními body. (ESRI 2014)

4.4.3. Kriging

Metoda krigování je pokročilý geostatistický proces, který generuje hodnoty terénu na základě souboru různých bodů a jejich výškové informací. Předpokládá, že vzdálenost nebo směr mezi jednotlivými body odráží prostorová korelace, která může být použita k interpretaci změn terénu. (ESRI 2014)

4.4.4. Topo to raster

Tato metoda je speciálně navržena pro vytvoření hydrologicky korektního DMR. Interpoluje výškové hodnoty rastru s důrazem na vstupní data v podobě struktury říční sítě a správně vyobrazuje hřebeny a vodní toky. (ESRI 2014)

4.5. DMR A VÝŠKOVÁ DATA DOSTUPNÁ V ČR

V této kapitole bude uvedeno několik veřejně dostupných DMR poskytovaných v ČR. Všechny níže uvedené DMR a výškopisy poskytuje ČÚZK a jsou k dispozici prostřednictvím online služeb na webových stránkách geoportálu ČÚZK, pro pokročilejší je možná alternativa v podobě služby ArcGIS online ve stejnojmenném programu.

Výškopis vrstevnic ZABAGED® tvoří vrstevnice s rozestupy 1, 2 nebo 5 m podle typu charakteru terénu, zobrazuje některé terénní hrany a jedná se o vektorovou vrstvu. Z této vrstvy je odvozen **ZABAGED® grid s rozměry 10 x 10**, z čehož vyplývá obdobný charakter průběhu terénu. **Digitální model povrchu ČR 1. generace** zobrazuje terén spolu se stavbami vegetací formou prezentace TIN a úplná střední chyba výšky činí u budov 0,4 m a 0,7 m v případě rostlinstva. **Digitální model reliéfu 5. generace**, rovněž prezentován formou TIN, zobrazuje přirozený a antropogenně upravený zemský povrch. Úplná střední chyba činí 0,3 m v lesích a na odkrytých plochách 0,18 m. (ČÚZK 2010) Vzhledem k tomu, že je digitální model reliéfu 4. generace využit v metodické části, bude podrobněji popsán v navazující kapitole.

4.5.1. Digitální model reliéfu 4. generace

DMR 4. generace pokrývá území ČR pravidelnou sítí diskretních výškových bodů o rozměrech 5 x 5 m. Tyto výškové body disponují souřadnicemi X, Y a H, třetí rozměr H je pak hodnotou nadmořské výšky odpovídající systému Balt po vyrovnání. Úplná střední chyba výšky činí na odkrytých plochách terénu 0,3 m a 1 m na území pokrytých lesy. (ČÚZK 2010)

Zdrojem dat pro tvorbu DMR 4G bylo letecké laserové snímání, které probíhalo v průměrné výšce 1200 m a 1400m nad střední rovinou terénu. Snímání bylo rozděleno do jednotlivých bloků, zpravidla o šířce 10km, respektive až 60km v případě shodné členitosti a výškovými poměry. (Brázdil et al. 2012)

Následovaly procesy zpracování těchto dat, georeferencování, transformace souřadnic do pracovního systému UTM/WGS84-G873, výškové informace do systému Balt po vyrovnání. Dále provedení robustní filtrace, kde se odstranily chyby spočívající v dopadu paprsků na nežádoucí předměty (např. ptactvo). Body získané touto filtrací nemusí ležet pouze na samotném povrchu terénu a bylo nutné vytvořit tzv. reprezentativní výškové uzlové body, každý pro čtverec 5 x 5 m. U těchto bodů byl předpoklad, že již představují terénní reliéf. Tato síť bodů byla podrobena další transformaci do systému S-JTSK. Nakonec došlo k interpolaci nesourodé sítě těchto uzlových bodů do pravidelné sítě čtverců 5 x 5 m, v programu SCOP++ metodou adaptabilní lineární predikce. (Brázdil et al. 2012)

DMR 4G může obsahovat mezery na místech, kde se nachází velké vodní plochy či toky širší než 200m, jelikož paprsky laseru mohou být pohlcovány vodou. Je třeba také brát ohled na rozměr čtvercové sítě (5 x 5 m), která nemůže zachytit malé terénní nerovnosti (náspy, výkopy, haldy, valy) a skalní tělesa o půdorysu menším než 5 m. (Brázdil et al. 2012)

4.6. VYUŽITÍ GIS V OBLASTI DMR

Současné GIS aplikace poskytují mnoho možností pro tvorbu a vizualizaci digitálních modelů terénu. Mezi tradičně používaný software se řadí ArcGIS společnosti ESRI. Z hlediska tvorby a práce s DMR jsou klíčové extenze 3D Analyst a Spatial Analyst. První zmíněná extenze pracuje s 3D zobrazením dat a je schopna interpolovat data do rastrové i TIN podoby, reklasifikovat rastry a provádět různé analýzy s DMR (např. sklonitost a expozice). Spatial Analyst pracuje s daty v rastrových formátech, interpoluje data do rastrové podoby DMR, rovněž umožňuje

provádět analýzy rastrů a oproti 3D analyst nabízí větší množství těchto analýz. Při práci s rastry je zároveň možná provázanost s vektorovými daty. V rámci ArcGIS je možné vytvářet DMR interpolačními metodami IDW, kriging, spline a topo to raster a již zmíněná tvorba TIN interpolací bodové sítě. (Klimánek 2006)

5. EROZE

Eroze je proces přírodního charakteru, při kterém dochází k narušování půdního povrchu a transportu částic vlivem vody, větru, ledu a dalších erozních činitelů. Celkově má eroze mnoho negativních vlivů, mezi které můžeme zařadit např. snižování podílu ornice na půdním profilu a mocnosti samotného půdního profilu, půda přichází o obsah humusu a živin, transportované půdní částice znečišťují vodní zdroje, snižují jejich akumulaci kapacitu, zmenšuje průtočný profil vodních toků a komplikují život vodních organismů. (Janeček et al. 2008)

Eroze se dělí na několik druhů podle erozního činitele. **Vodní** eroze vzniká dopadem dešťových kapek na povrch půdy a následně vlivem povrchového odtoku z přívalových nebo dlouhodobých srážek či z jarního tání. **Ledovcová** eroze je způsobena pohybem ledovců v údolí a postupným erodováním skalního podloží. **Sněhovou** erozi způsobuje zejména pohyb sněhových lavin, při kterých je vyvinut vysoký tlak a rychlost sněhu, zpravidla je tak zasažen lokální pás území. Kinetická energie větru vyvolává **větrnou** erozi, přesunuje volné částice půdy a ukládá je při poklesu této energie. **Zemní** erozí se rozumí činnost při pohybu suťových proudů, které narušují půdu a zanechávají v ní hluboké brázdy. V neposlední řadě mezi uvedené činitele patří vliv člověka, tzv. **antropogenní** eroze. Nepřímo člověk působí na erozní procesy v podobě nahrazování přírodního půdního pokryvu vegetací s nízkou ochranou, přímo se člověk podílí výstavbou silničních komunikací a měst. (Holý 1978)

5.1. VODNÍ EROZE

Vodní erozí se rozumí souhrnné procesy, do kterých spadá narušování půdního povrchu, transport a pohyb volných částic půdy vlivem účinku vody. Jde o zcela přirozený proces, jenž není možné úplně zastavit. Z časového hlediska je pak eroze sledována jako **normální**, kterou nelze pozorovat v rámci lidské generace, jelikož se jedná o dlouhodobý proces přeměny krajiny v souladu s procesy tvorby půdy. Opakem je eroze **zrychlená**, při které je půda narušována natolik, že ji půdotvorný proces nemůže nahradit, vzniká hlavně přispěním lidské činnosti. (Novotný et al. 2014)

Podle formy se vodní eroze dělí na plošnou a výmolnou. **Plošnou** erozí dochází k rovnoměrnému smyvu půdy na velkých plochách, mocnost půdního profilu je zmenšována postupně a charakter odnosu půdy je velice selektivní, jelikož odnáší především jemná zrna. Zda dochází k plošné erozi lze zjistit v nejnižších

místech svahů, kde se hromadí vyplavená jemná zrna půdy. **Výmolná** eroze vzniká v místech s postupným soustředováním odtoku, kde se vytvářejí mělké, postupně se prohlubující zářezy. Z hlediska intenzity se výmolová eroze ještě dále dělí na rýžkovou a brázdovou, rýhovou, výmolnou a stržovou, která je nejintenzivnější a nejdestruktivnější. (Novotný et al. 2014)

5.1.1. Příčiny vodní eroze

Proces vodní eroze, jeho vznik, průběh a intenzitu, ovlivňuje kombinace přírodních podmínek, na které má zároveň vliv lidská činnost. Příčiny lze dále rozdělit podle několika druhů faktorů:

- klimatické a hydrologické faktory jako jsou zeměpisná poloha, nadmořská výška, druh srážek a povrchový odtok;
- faktory morfologické, zejména sklonitost v území, tvary a délky pozemků a jejich expozice ke světovým stranám;
- geologické a půdní, které představují půdní druhy a typy, horninový substrát a vlastnosti půdy;
- faktor vegetace, její hustota a doba trvání pokryvu;
- využití a obhospodařování neboli poloha a tvar pozemků, směr obdělávání a použité technologie a střídání plodin na pozemcích. (Janeček et al. 2002)

5.1.2. Důsledky vodní eroze

Vlivem působení zrychlené eroze dochází k celkové degradaci půd, snižuje se mocnost půdního profilu, fyzikálně-chemické vlastnosti se významně zhoršují, půda obsahuje vyšší procento skeletu, je ochuzena o značné množství živin a humusu, dochází k poškození plodin a ztrátám osiva. Důsledkem je v celku i snížení výnosů na hektar. Pohyb půdních částic způsobuje zanášení vodních děl, snižuje průtočnost ve vodních tocích a tím ztěžuje život vodních organismů. (Novotný et al. 2014)

5.2. OPATŘENÍ PROTI VODNÍ EROZI

Pro efektivní ochranu proti vodní erozi je nutné přistupovat k návrhu opatření proti vodní erozi komplexně, navržením organizačních, agrotechnických a technických tak, aby se vzájemně doplňovaly a současně umožnily splnění

základních požadavků pro zemědělskou výrobu po jejich aplikaci. Jaká opatření či jejich kombinace budou použita, se posuzuje podle jejich účinnosti, čili zda dochází k požadovanému snížení ztráty půdy a k ochraně žádoucích objektů např. vodní plochy a toky nebo intravilány měst a obcí. Zároveň je však nutností zachování zájmů majitelů dotčených půdních ploch, respektování životního prostředí a krajinného rázu. (Podhrázská et Dufková 2005)

V mnoha případech se potvrdila skutečnost, že k řešení návrhu opatření proti vodní erozi je nezbytné přistupovat v rámci celých povodí a jejich provedení by mělo vycházet z projektů speciálně zaměřených na tuto problematiku. Skutečné řešení je také samozřejmě záležitostí ekonomickou a legislativní. (Podhrázská et Dufková 2005)

5.2.1. Organizační opatření

Podstatou organizačních opatření jsou uspořádání pozemků tak, aby delší strana rovnoběžně přiléhala ke směru vrstevnic, volba vhodné velikosti a tvaru pozemků a určení parcel, na kterých je příhodná změna druhu využití. Tato opatření se navrhuje paralelně s dalšími opatřeními a je zde předpoklad úzké spolupráce s dotčenými subjekty hospodařícími na parcelách. (Janeček et al. 2012)

Výše uvedené orientování pozemků zároveň zajišťuje, že budou obdělávány ve směru vrstevnic a jejich délka je tak zkrácena po spádnicí. Tato opatření jsou v praxi realizována během komplexních pozemkových úprav. (Novotný et al. 2014)

Dále je vhodné upřednostnit plodiny, které nedisponují účinnou ochranou proti erozi půdy, k pěstování na pozemcích, kde se nachází nízká náchyllost k erozi. Opakem jsou tomu silně ohrožené plochy, které je nejvhodnější zcela zatravnit, jde především o území přiléhající k vodním tokům či dráhy soustředěného odtoku. (Novotný et al. 2014)

Dalším z organizačních opatření může být pásové střídání plodin. Plodiny se pěstují tak, že se v jednotlivých pásích, ve směru vrstevnic, střídají plodiny s nízkou protierozní ochranou a naopak. V krajních případech lze přistoupit ke střídání plodin a travních pásů. Tyto pásy by měly dodržovat odklon od vrstevnic do 30°. (Novotný et al. 2014)

5.2.2. Agrotechnická opatření

Agrotechnická opatření slouží především ke zvýšení schopnosti půdy vsakovat vodu, napomáhají ke snížení erodovatelnosti půdy a v období letních přívalových dešťů chrání půdu při pěstování plodin s nízkým protierozním účinkem. (Novotný et al. 2014)

Půda je k erozi nejvíce náchylná v období, kdy je bez vegetačního pokryvu a tak je také cílem těchto opatření co nejvíce zkrátit dobu těchto období. Pro ochranu půdy je možné záměrně využít zbytky plodin po sklizních. Efektivní ochranou jsou také technologie ochranného zpracování, tyto technologie zahrnují zejména mělké kypření namísto orby a i prokypření ornice do vyšší hloubky bez obracení. V případě, kdy se přistupuje k technologii orby, je nezbytné dodržovat pravidla spočívající v pohybu strojů ve směru vrstevnic. (Janeček et al. 2012)

Pokud je již dodrženo pravidlo orby po vrstevnicích, musí se zajistit stejný postup dalších prací, tedy setí a sázení, sklizeň a kultivace půdy, vše ve stejném směru. (Novotný et al. 2014)

Již zmíněné využití zbytků plodin neboli ochranné obdělávání zahrnuje několik následujících typů:

- setí napřímo do mulče z rostlinných zbytků předplodin;
- setí napřímo do přezimující a vymrzající meziplodiny;
- setí do mulče meziplodin;
- vysetí ochranné podplodiny v pásech a meziřádcích. (Novotný et al. 2014)

Při pěstování brambor se využívá technologie zvaná hrázkování, zakládají se ochranné hrázky střídavě s hrůbky pomocí hrázkovače, díky čemuž vzniknou příkopy schopné akumulace vody na pozemku a brání tak tvorbě soustředěného odtoku. Obdobou této technologie je důlkování, kde se namísto hrázek tvoří důlky od sebe vzdálené 30-40 cm. Stejně jako u hrázkování, důlky zvyšují akumulaci vody a brání povrchovému odtoku. Samozřejmostí by mělo být vedení hrázek či důlku po směru vrstevnic. (Novotný et al. 2014)

5.2.3. Technická opatření

Povrchový odtok vznikající v určitých povodích nelze v mnoha případech řešit pouze organizačními nebo agrotechnickými opatřeními, která jej nedokáží podstatně snížit či dokonce úplně eliminovat. Z tohoto důvodu se pozemky s nadměrnou plochou, velkými sklony a přílišnými délkami svahů rozdělují opatřeními liniového

charakteru, společně s vybudováním nové svodné sítě. Podmínkou takto budované sítě je kombinace spolu s protierozními opatřeními uvedenými v předešlých kapitolách, jelikož použití samostatných technických opatření není plnohodnotnou ochranou, jedná se pouze o tzv. kostru. (Podhrázská et Dufková 2005)

- **Terénní urovnávky**

Terénní urovnávky snižují příčný sklon svahů na pozemcích tak, že se přesouvají místní nerovnosti zeminy. Omezuje se tím tvorba soustředěného odtoku a rýhové eroze. Je ovšem nutná dostatečná hloubka zeminy v lokalitě. (Janeček et al. 2008)

- **Meze**

Protierozní meze musí pro svou efektivní funkci splňovat trasování ve směru vrstevnic. Jejich vznik je zajištěn postupnou orbou na pozemku, kdy se postupem času vytvoří terénní stupeň. Meze jsou na pozemcích s vysokým sklonem zpravidla zatravněny a ovlivňují tak směr pěstování plodin a jejich obdělávání v podmíněném směru. Účinnost je však velmi malá a je proto vhodné je doplnit dalšími technickými opatřeními. (Janeček et al. 2008)

- **Terasy**

Terasování se praktikuje u pozemku s extrémními sklony svahu, zpravidla většími než 20% a je podmíněno výskytem hlubokých i středně hlubokých půd. Případy, kdy se přistupuje k terasování, jsou považovány za krajní a snaha je se jim vyhnout, jelikož se jedná o významný zásah do krajiny a jejího ekosystému. (Janeček et al. 2008)

- **Příkopy**

Hlavním úkolem příkopů je ochrana intravilánů a důležitých ploch před vniknutím přebytečné vody a její neškodné odvedení. K zachycení přebytečné vody se budují příkopy záchytné a svodné, které se následně napojují na hydrografickou síť v povodí. (Podhrázská et Dufková 2005) Příkopy dimenzujeme pomocí hydrologických a hydraulických výpočtů a dle stupně ochrany mohou pojmut průtoky o velikosti Q_5 až Q_{100} . (Janeček et al. 2008)

- **Průlehy**

Protierozní opatření průlehováním je označováno jako jedno z neúčinnějších. Svah je rozdělen příčně a rozdělen na několik menších. Vzdálenosti mezi nimi jsou

určovány dle sklonu pozemku, půdní charakteristiky a velikosti přívalových srážek v území. Konstrukčně jde o široký a mělký příkop s pozvolným sklonem svahu (1:5). (Podhrázská et Dufková 2005)

- **Zatravnění údolnic**

Místa, kde z hlediska morfologie území přirozeně dochází k soustředování povrchového odtoku je nutné chránit, v nejlepších případech zatravněním dotčených ploch. Údolnice s travním porostem chrání dráhy povrchového odtoku, který je do těchto míst v důsledku členitosti terénu soustředován. Profil údolnic bývá většinou parabolického tvaru, v menšině případů lichoběžník či trojúhelník. Samotné aplikaci zatravnění údolnic předchází hydrologické a hydraulické výpočty a návrhové průtoky profilů jsou minimálně Q_5 . (Janeček et al. 2008)

- **Zasakovací pásy**

Vedle údolnic jsou zasakovací pásy účinnými liniovými složkami s malými náklady na investice. Převádění povrchové vody na podpovrchový odtok probíhá na pásích z trávy, křovin, případně lesů. Průběh pásů je vrstevnicový a mohou být střídány pásy s plodinami, které nemají dostatečné protierozní účinky. (Podhrázská et Dufková 2005)

- **Hrázky**

Hrázky se staví pro ochranu důležitých objektů, zejména obcí a pozemních komunikací, na úpatí zemědělských pozemků a chrání je před zatopením vznikajícím během přívalových srážek a odnasy vzniklými během nich. Jedná se o zemní tělesa lichoběžníkového tvaru o výšce 1 – 1,5 m s vegetačním opevněním a musí být osazeny vypouštěcím objektem a česlemi pro odtok „čisté“ vody. (Janeček et al. 2008)

- **Nádrže a poldry**

Protierozní nádrže a suché poldry zachycují kulminační průtoky, které ohrožují města a obce při přívalových deštích a jarním tání. Dimenzovány musí být tak, aby byly schopny pojmout průtok o velikosti Q_{100} , avšak pro zajištění efektivity zachycení průtoku lze tyto nádrže budovat pouze pro malá povodí. Nádrže jsou schopny chránit vodárenská díla před zanášením a obohacováním rozpuštěnými látkami. (Podhrázská et Dufková 2005)

5.3. HODNOCENÍ OHROŽENOSTI VODNÍ EROZÍ METODOU USLE

Na území ČR se ohroženost erozí a navržená protierozní opatření hodnotí tzv. „Univerzální rovnicí pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí“ neboli USLE, jejíž autory jsou W. H. Wischmeier a D. D. Smith. Principem rovnice USLE je přípustná ztráta půdy na jednotkovém pozemku. Parametry takového pozemku jsou délka 22,13 m a sklon 9% se stále kypřeným úhorem bez vegetace ve směru sklonu svahu. Výsledek výpočtu přípustné ztráty půdy znamená nejvyšší možnou erozi půdy pro zajištění dlouhodobé, ekonomicky efektivní úrodnosti půdy. (Janeček et al. 2012)

Rovnice pro stanovení ztráty půdy má následující znění:

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad [t \cdot h^{-1} \cdot rok^{-1}]$$

tímto se stanoví dlouhodobý průměr ročního odnosu půdy, jednotlivé faktory vstupující do rovnice budou popsány následovně.

5.3.1. Faktor erozní účinnosti deště – R

Za předpokladu, že jsou další faktory vstupující do rovnice USLE konstantní, je zde přímá úměra ztráty půdy k součinu energie přívalového deště a 30 minutové maximální intenzity. Hodnota faktoru R spočívá v závislosti na četnosti srážek, kinetické energii vyvolané srážkami, intenzitě a úhrnu. (Dumbrovský et Šindlar 2010) Vzhledem k problémům stanovení R faktoru na regionální úrovni České republiky se v USLE používala průměrná hodnota pro celé území $20 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$, aktualizovaná metodika však doporučuje použití dvojnásobné hodnoty, tedy $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$. (Janeček et al. 2012)

5.3.2. Faktor erodovatelnosti půdy – K

Faktor erodovatelnosti půdy udává, jak je půda schopna odolávat účinkům deště, jeho schopností rozrušovat půdu a následnému odnosu půdy povrchovým odtokem. Jeho hodnotu lze stanovit na základě hlavní půdní jednotky, která je uvedena v kódu bonitované půdně ekologické jednotky. (Pírková et al. 2013)

5.3.3. Topografické faktory délky a sklonu svahu- L a S

Faktory délky svahu L a sklonu svahu S poukazují na vliv morfologie terénu na intenzitu eroze. Hodnoty vypočtené na řešeném pozemku se rovnají poměru ztráty půdy na jednotkovém pozemku (viz. Kapitola 5.3), ke ztrátě půdy na jednotku plochy parcely. L faktor sleduje, jaký vliv má nepřerušená délka svahu na výslednou ztrátu. Nepřerušená délka svahu znamená odtokovou linii od horní hranice pozemku, bez ovlivnění výše položenými pozemky, po objektu přerušující odtok ze svahu, např. komunikace nebo příkop. S faktor pak sleduje ovlivnění eroze sklonem svahu. Obecně platí, že čím vyšší sklon a délka svahu, tím vyšší intenzita eroze. Náchylnost k erozi se s rostoucím sklonem svahu zvyšuje více, než je tomu u rostoucí délky svahu. (Janeček et al. 2012)

5.3.4. Faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu – C

Vegetace má příznivé účinky na ochranu před dopadem dešťových kapek a zpomaluje rychlost povrchového odtoku. Tyto účinky lze vyjádřit faktorem C, který vyjadřuje přímou úměru mezi pokryvem a hustotou vegetace v době přívalových srážek. (Dumbrovský et Šindlar 2010) Nejdokonalejší ochranu před těmito jevy vykazují trávy a jeteloviny, naopak je tomu u širokořádkových plodin (např. kukuřice), ovocných sadů a vinic. (Janeček et al. 2002)

5.3.5. Faktor účinnosti protierozních opatření – P

Hodnoty faktoru P upravují použitá protierozní opatření, ta však musí respektovat maximální délky konturového obdělávání 40-120 m a maximální šířku pásu 20-40m. Pokud je aplikováno pásové střídání plodin, obojí je závislé na sklonu svahu. Jestliže toto není dodrženo, nelze předpokládat účinnost navržených opatření a hodnota faktoru P je rovna 1. (Janeček et al. 2012)

5.3.6. Posouzení ohroženosti vodní erozí

Výsledkem metody rovnice USLE je dlouhodobá průměrná ztráta půdy [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$] při zvoleném scénáři protierozní ochrany současného stavu či po návrhu protierozních opatření. Tato hodnota nesmí překročit přípustnou ztrátu půdy, a pokud ji překračuje, je zřejmé, že navržená protierozní opatření či současný

způsob využívání pozemku jsou nevyhovující. Ovlivnit výsledek vypočtený z rovnice USLE lze navržením účinnějších opatření na pozemcích. (Janeček et al. 2012)

Hodnota přípustné ztráty půdy je stanovena s ohledem na zachování funkčnosti půdy a její dlouhodobé úrodnosti. Nedoporučuje se hospodaření na pozemcích s mělkými půdami do 30 cm hloubky, a proto by měly být zatravněny nebo zalesněny. Původní hodnoty pro středně hluboké půdy s mocností 30-60 cm a hluboké půdy s více jak 60 cm činily $4 \text{ t*ha}^{-1}\text{*rok}^{-1}$ pro střední a $10 \text{ t*ha}^{-1}\text{*rok}^{-1}$ pro hluboké. Tyto hodnoty jsou nyní nahrazeny jednotnou přípustnou ztrátou, pro obě kategorie $4 \text{ t*ha}^{-1}\text{*rok}^{-1}$. Hloubku půdy lze určit z terénního průzkumu nebo z páté číslice kódu BPEJ. (Janeček et al. 2012)

5.4. OSTATNÍ METODY HODNOCENÍ OHROŽENOSTI VODNÍ EROZÍ

Po metodě USLE je další empirickou metodou revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy, obecně známá jako RUSLE. Jedná se o revidovanou a aktualizovanou rovnici vycházející z USLE. Do rovnice vstupuje větší objem dat, pro která je nutná větší znalost řešeného území, výsledkem jsou přesnější data. Získání těchto vstupních dat je ale na území ČR vzhledem k nekompletním databázím problematické a v našich podmínkách se rovnice RUSLE prozatím pro projektování nepoužívá. (Podhrázská et al. 2008)

Erozní procesy se dále hodnotí tzv. simulačními modely. Tyto modely jsou založeny na fyzikálních popisech eroze půdy a matematicky řeší průběh eroze v čase a prostoru. Eroze jako celek je složitý proces, simulační modely tyto procesy dělí na snadněji popsané procesy na uvolnění a přemístění částic deštěm, a uvolnění a transport půdních částic povrchovým odtokem. Základem pro simulační modely jsou rovnice kontinuity pro pohyb vody a splavenin. V rámci ČR vyvinula katedra hydromeliorací Fakulty stavební ČVUT simulační model povrchového odtoku a procesu eroze SMODERP. Tento model sleduje proces eroze v malém povodí a výsledkem jsou data o povrchovém odtoku a erozi, sloužící pro návrh protierozních opatření. (Podhrázská et al. 2008)

Mezi další simulační modely patří HydroCAD, KINFIL, EROSION 2D/3D a WEPP. (Janeček et al. 2012) Vzhledem k zaměření této práce nebudou tyto modely podrobněji popisovány.

5.5. HODNOCENÍ EROZNÍ OHROŽENOSTI V PROSTŘEDÍ GIS

Při řešení ohroženosti vodní erozí a návrhu protierozních opatření je velmi příhodné využití GIS, jak při přípravě a zpracování vstupních, tak i při finálním hodnocení. Nespornou výhodou při práci v GIS jsou analýzy pro rozsáhlá území, časová variabilita při změnách vstupních dat a efektivní prezentace výsledných dat. (Cajthaml et al. 2014)

5.5.1. Použití a převod dat

Data použitá v GIS analýzách mají velice rozmanitý charakter. K dispozici jsou různé formy mapových podkladů, ideálně v digitální formě, velmi často také analogové podklady tištěné na papír. GIS má za úkol tuto rozmanitost sjednotit do jednoho datového modelu, s jednotným souřadnicovým systémem, pro maximální využití informací ze všech dat. Digitální data jsou k dispozici zpravidla ve vektorových a rastrových formátech, s informací o poloze v souřadnicovém systému. Analogová data se v dnešní době v první řadě převádějí do formy digitální, skenováním, popř. fotografováním a dostávají se tak do formátů rastrových. Tím to však nekončí, jelikož chybí informace o poloze, přistupuje se v druhé řadě ke georeferencování těchto vrstev, kde je kladen důraz na přesnost a korektnost transformace do příslušného souřadnicového systému, aby nedošlo k případné deformaci mapového podkladu. (Cajthaml et al. 2014)

5.5.2. Metoda USLE

Nejčastější metodou využívanou v prostředí GIS je právě rovnice USLE, aplikovaná do formy rastrových analýz v programu ESRI ArcGIS. Při práci s rastrovými vrstvami je potřeba vytvoření čtvercových sítí pro jednotlivé faktory USLE s vhodnou velikostí čtverce, vždy stejnou pro všechny vrstvy. (Cajthaml et al. 2014)

Při práci v ArcGIS se tedy postupně vytvoří rastrové vrstvy, všechny s údaji pro každou buňku rastru pro příslušný faktor. Faktory R (erozní účinnost deště) a P (účinnost protierozních opatření) jsou na řešených územích zpravidla konstantní na celých plochách a jako konstanty do výpočtu také vstupují, bez tvorby rastrů. Grid faktoru K (erodovatelnost půdy) se doporučuje vytvářet na základě dat z databáze BPEJ poskytovanou VÚMOP. Faktor ochranného vlivu vegetace C je nejvhodnější

odvodit z informací hospodařících subjektů v území, které by měly poskytnout skutečná data o zastoupení plodin. (Doležal et al. 2010)

Za zcela stěžejní se považuje tvorba, potažmo výpočet rastru topografických faktorů LS. Toto však není v prostředí ArcGIS možné a je tedy nutné tvorbu gridu zajistit v jiných programech. V našich podmínkách se využívá program USLE 2D, který ze vstupních dat v podobě DMR vypočte grid LS faktoru. USLE 2D však pracuje pouze s formáty Idrisi a data je třeba převádět mezi formáty softwarem LS converter. Optimální metodou výpočtu, kterou USLE 2D nabízí, je „LS Algorithm: Mc Cool“. Další vstupní vrstvou je tzv. rastr „parcel“, jenž vyznačuje plochy pro výpočet a zohledňuje místa s přerušenu dráhou odtoku. (Cajthaml et al. 2014)

Výpočet hodnoty ztráty půdy se v ArcGIS provádí funkcí „*Raster calculator*“, vynásobením všech rastrů a konstant. Výsledný rastr $G [t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}]$ je možné podrobit hodnocení přípustné ztráty půdy. (Doležal et al. 2010)

Podrobným postupem tvorby jednotlivých rastrů faktorů USLE a hodnocením přípustné ztráty půdy se zabývá metodická část v kapitole 7.

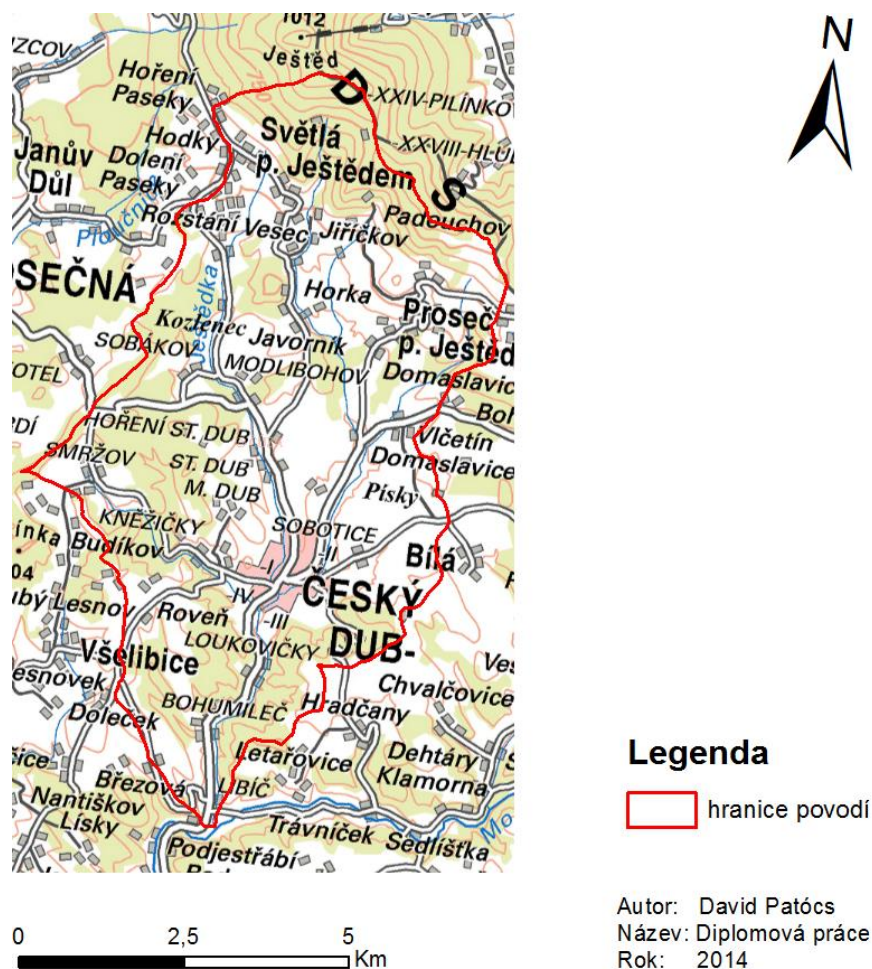
5.5.3. Meze platnosti hodnocení dle USLE

Metoda USLE je určena pro stanovení průměrné roční ztráty na přímých svazích a vylučuje se její použití v místech se zvýšenou koncentrací odtoku. Při matematickém použití se tomuto lze vyhnout, avšak v případě aplikace do prostředí GIS s využitím USLE 2D pro LS faktor připadají v úvahu pouze plošné výpočty pro celé zemědělské a jiné plochy. Jestliže se při výpočtech místa, která nespádají pod platnost USLE nevyklučují, může docházet k nekorektním výsledkům s nereálnými hodnotami. Při vyhodnocování těchto míst se doporučuje kombinace parametrů hodnoty ztráty půdy, akumulaci odtoku a hodnot LS faktoru. (Cajthaml et al. 2014)

6. CHARAKTERISTIKA ŘEŠENÉHO ÚZEMÍ

6.1. LOKALIZACE POVODÍ

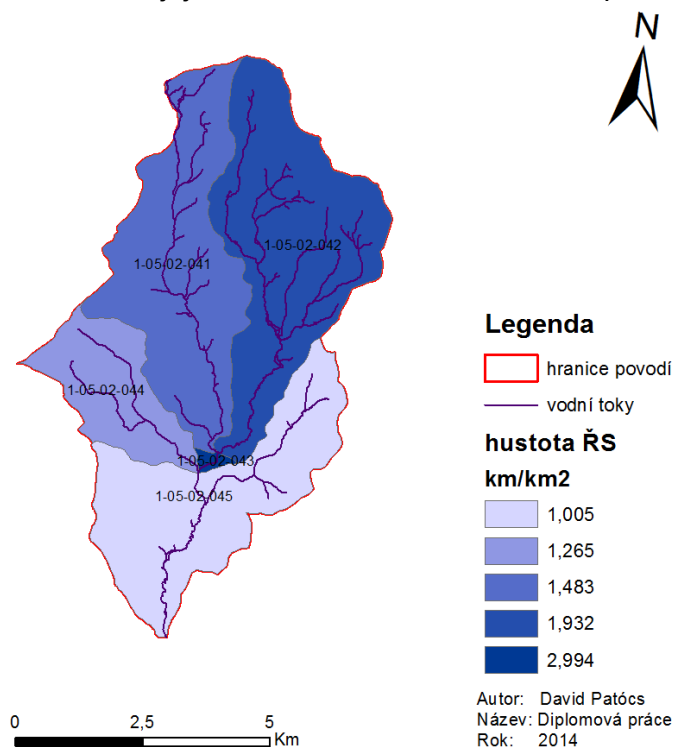
Řešené území se nachází v Libereckém kraji, okres Liberec a zasahuje do katastrálních území obcí Bílá, Březová, Český Dub, Hradčany, Javorník, Kotel, Libíč, Loukovičky, Modlibohov, Proseč pod Ještědem, Rašovka, Rozstání, Smržov, Sobákov, Starý Dub, Světlá pod Ještědem, Vlčetín a Všelibice, Jedná se o pět na sebe navazujících povodí IV. řádu, ze kterých je povrchová voda odváděna menšími toky Rašovka a Smržovský potok vtékajícími do Ještědky až do uzávěrového profilu v nejnižším bodě povodí. Celková rozloha pak činí 43,63 km², délka vodních toků 64,91 km a to včetně přítoků, z čehož odvozená hustota říční sítě má hodnotu 1,49. V severní části je terén poměrně sklonitý, více k jihu jsou sklony patrně nižší, avšak nejedná se o typicky rovinatý charakter, sklony svahů se pohybují o 5% do 65%. Nejvyšší nadmořská výška má 944 m.n.m, naopak nejnižší položený je uzávěrový profil povodí, nadmořské výšce 244 m.



Obr. 3 Lokalizace řešeného území (Podkladová Data: ČÚZK, Zpracování vlastní)

6.2. HYDROLOGICKÉ POMĚRY

Jak již bylo uvedeno výše, v území se nachází celkem pět sousedících povodí IV. řádu s číslem hydrologického pořadí 1-05-02-041 až 1-05-02-045. Jmenovitě jde o toky Smržovský potok (ID111960000100), Rašovka (ID111940000100) a Ještědka (ID111930000100) a celkově spadají pod povodí Labe. Na obr. č. 5 jsou vidět jednotlivá povodí, říční síť a její barevně znázorněnou hustotu pro každé z nich.



Obr. 4 Říční síť v povodí (Podkladová Data: DIBAVOD, Zpracování vlastní)

Nejdelším tokem protékajícím uzávěrovým profilem všech povodí je potok Ještědka (1-05-02-041, 043, 045), vlévá se zprava do Mohelky, délka toku činí 11,7 km s průměrným průtokem $0,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Jedná se o vodohospodářsky významný tok se pstruhovou vodou a jeho vody jsou chráněnou rybí oblastí. (Hromek et al. 2004)

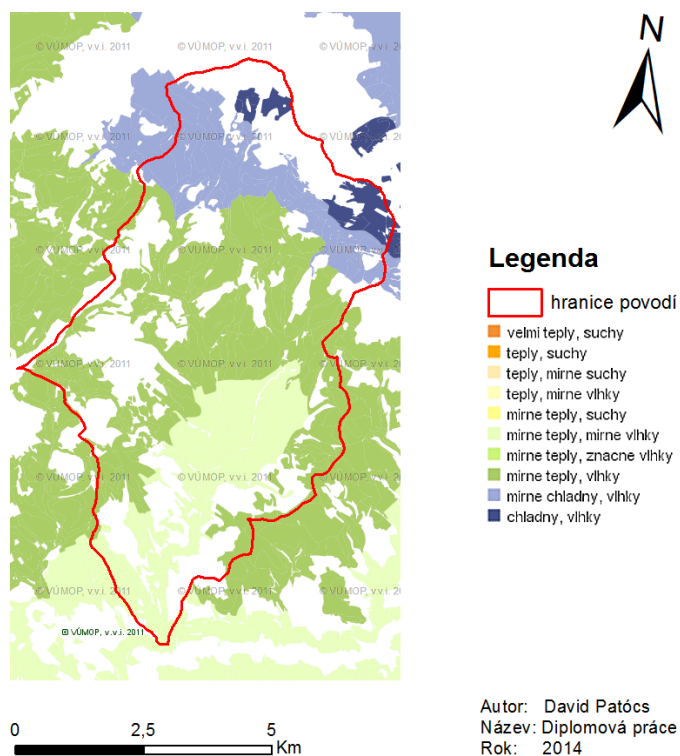
6.3. KLIMATICKÉ POMĚRY

V Libereckém kraji se průměrné roční teploty pohybují mezi 6 až 8°C, jelikož je území poměrně členité, mohou být tyto teploty v severní části nižší a naopak více na jih vyšší. Z hlediska srážkových úhrnů se v jižní části kraje ve stínu Jizerských a Lužických hor jedná většinou o průměrné hodnoty celé ČR, které činí přibližně 800 mm srážek za kalendářní rok. (Krajský úřad Libereckého kraje 2015) Zájmová oblast

se nachází v území mírně teplého klimatu (MT7), přehledná klasifikace dle Quittových klimatických oblastí je uvedena v Tab. 1.

Počet letních dní	30-40
Počet dní s prům. teplotou 10°C a více	140-160
Počet dní s mrazem	110-130
Počet ledových dní	40-50
Průměrná lednová teplota	-2 - -3
Průměrná červencová teplota	16-17
Průměrná dubnová teplota	6-7
Průměrná říjnová teplota	7-8
Prům. počet dní se srážkami 1mm a více	100-120
Suma srážek ve vegetačním období	400-450
Suma srážek v zimním období	250-300
Počet dní se sněhovou pokrývkou	60-80
Počet zatažených dní	120-150
Počet jasných dní	40-50

Tab. 1 Klasifikace oblastí dle Quitta (Hromek et al. 2004)



Obr. 5 Klimatické oblasti v povodí (Podkladová Data: VÚMOP, Zpracování vlastní)

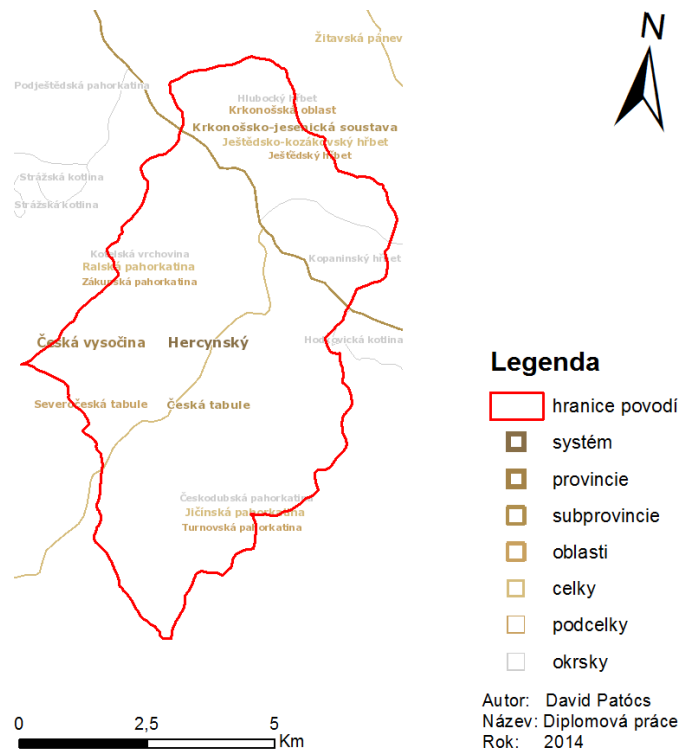
6.4. GEOMORFOLOGIE

Z geomorfologického hlediska se oblast nachází na následujícím členění:

- systém Hercynský;
- subsystém Herycnské pohoří;
- provincie Česká vysočina;
- subprovincie Krkonošsko-jesenická, Česká tabule;

- oblast Krkonošská, Severočeská tabule;
- celek Jičínská Pahorkatina, Ralská pahorkatina, Ještědsko-kozákovský hřbet;
- podcelek Turnovská pahorkatina, Zákupská pahorkatina, Ještědský hřbet;
- okrsek Kopaninský hřbet, Hlubocký hřbet, Kotelská vrchovina a Českodubská pahorkatina. (Hromek et al. 2004)

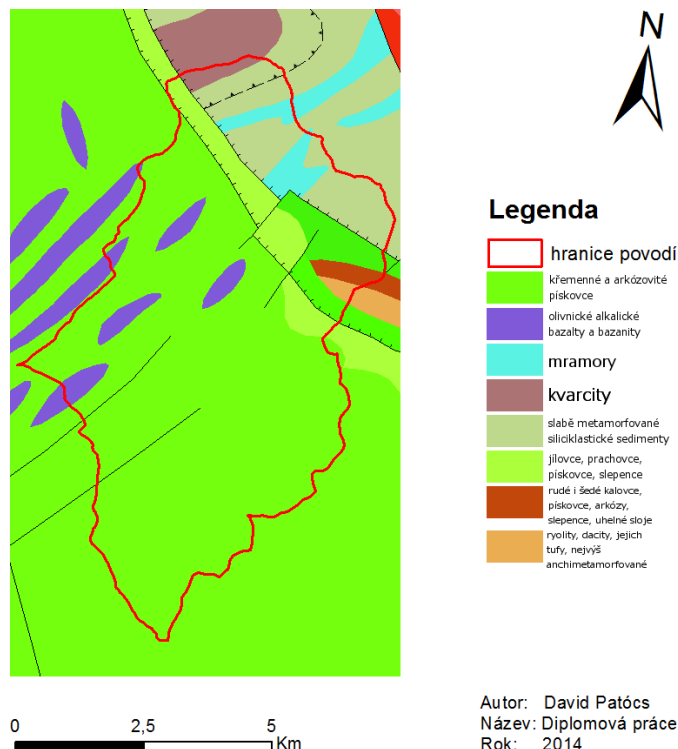
Povodí se nachází na rozhraní dvou subprovincií a to má za následek složitější geomorfologické řešení, které lze spatřit na Obr. 6.



Obr. 6 Přehled geomorfologických okrsků v území (Podkladová Data: CENIA, Zpracování vlastní)

6.5. GEOLOGIE

Většina podloží v území je tvořena mezozoickými horninami čili pískovci a jílovcí, jak je patrné z Obr. 7, nemalé zastoupení zde mají také kvartérní hlíny, spraše, písky a štěrky. Severní částí prochází tektonický zlom, tzv. Lužický zlom nebo také lužická poruchová zóna, za kterou lze nalézt paleozoické horniny zvrásněné a metamorfované, např. fylity a svory. Mezi další mateční horniny převážně vulkanického původu, jež se vyskytují méně často, se řadí čediče, fonolity, tufy, amfibolity, diabasy, melafyry a porfyry. Velmi nepatrná část na severovýchodě je zastoupena ultrabazickými horninami v moldanubiku a proterozoiku. (CENIA 2014)



Obr. 7 Geologická mapa zájmového území (Podkladová Data: CENIA, Zpracování vlastní)

6.6. PEDOLOGIE

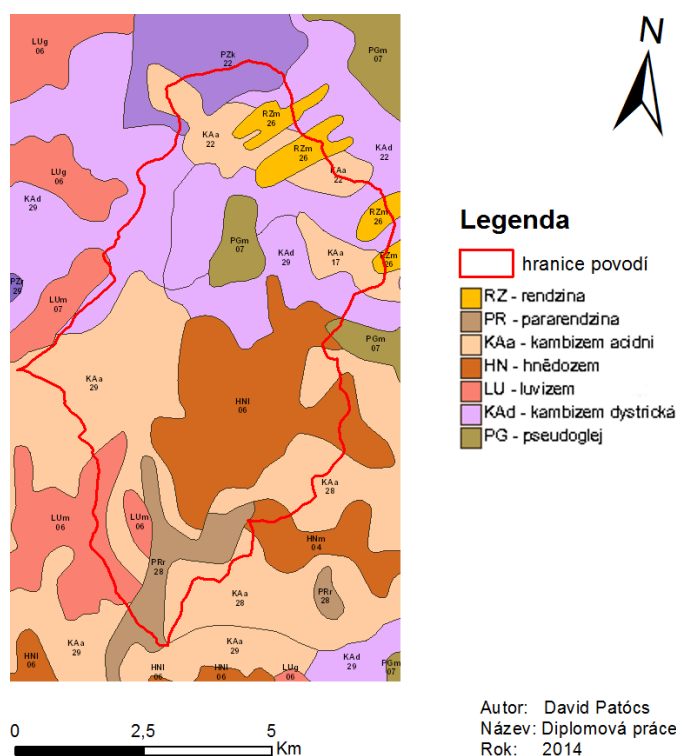
Rozsáhlost území vypovídá o poměrně rozmanitém zastoupení jednotlivých půdních typů. Dle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR se zde nacházejí tyto typy půd:

- Rendzina – nevyvinuté půdy na rozpadech krystalických vápenců až dolomitů, nejčastěji se vyskytují lesy;
- Pararendzina – nevyvinuté půdy vázané na vápnité pískovce až prachovce, většinou pokryty bučinami, borovicemi a duby;
- Fluvizemě – mladé půdy s jednoduchou stratigrafií, vyskytují se v nivách vodních toků, u kterých dochází k periodickým rozlitím;
- Černozemě – geneticky vyzrálá půda se stepní až lesostepní vegetací;
- Hnědozemě – úrodná půda v teplejších oblastech vyvinutá na sprašovém podloží a sprašových hlínách, nejčastěji pokryty trvalým travním porostem;
- Luvizemě – obdoba hnědozemě s rozdílem přítomnosti zesvětleného horizontu bez jílových materiálů, původem ze sprašových hlín, často se zde nachází orná půda, TTP a menší lesy;
- Kambizemě – jinými slovy hnědá půda, nejvíce zastoupený půdní typ v území, původem ze zvětralin pevných hornin a z nezpevněných

sedimentů. Na území se nachází Kambizem dystrická, vhodná pouze pro nízkou zemědělskou produkci a Kambizem acidní (kyselá);

- Pseudogleje – vznikají na těžkých sedimentárních horninách s různým stářím, některé typy lze využívat jako ornou půdu;
- Gleje – trvale zamokřené půdy, které se vyvíjejí v nivách a bezodtokových depresích. (Hromek et al. 2004)

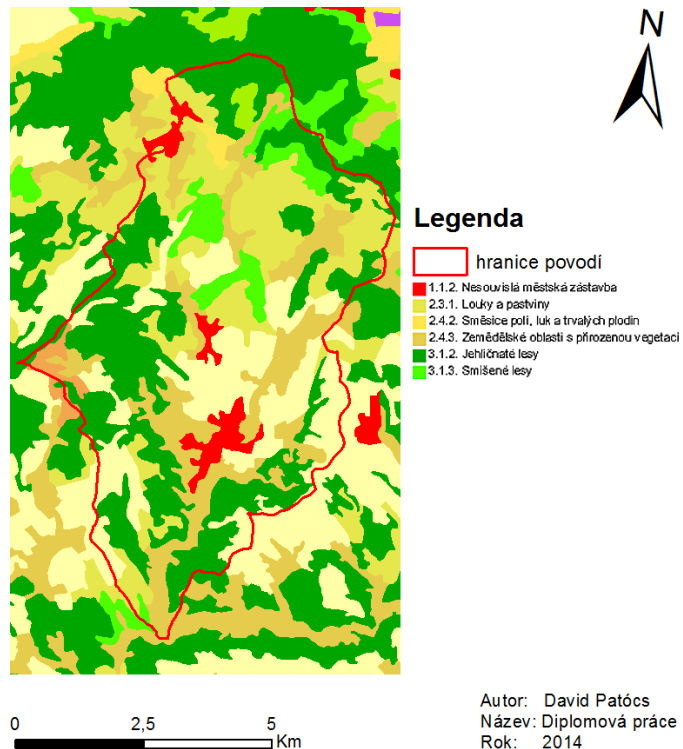
Prostorové uspořádání zastoupení výše uvedených typů půd je uvedeno v přehledné mapě půdního pokryvu v území na Obr. 8. Přesné půdní jednotky dle bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) jsou uvedeny příloze č. 13.



Obr. 8 Mapa půdních typů v území (Podkladová Data: CENIA, Zpracování vlastní)

6.7. VYUŽITÍ ÚZEMÍ

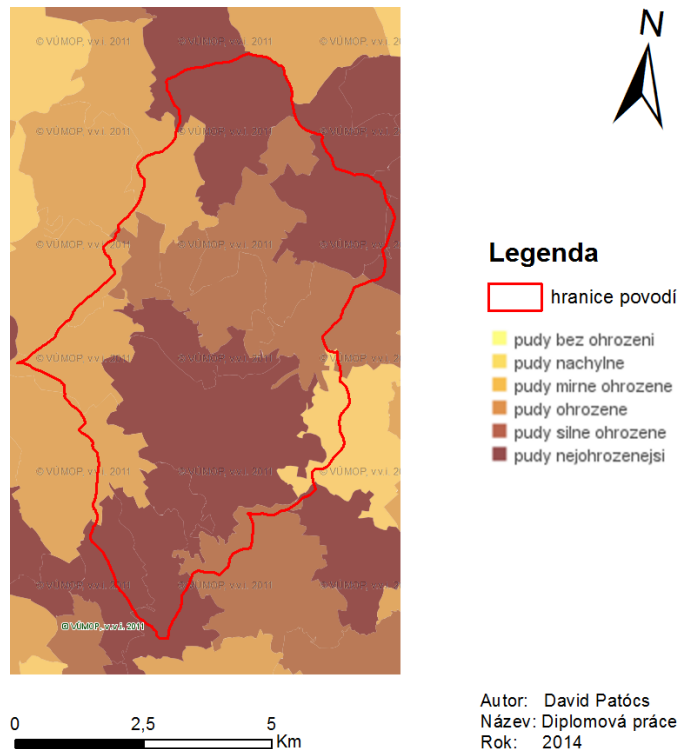
Území je z hlediska zastoupení ploch využití poměrně vyrovnané, lesy tvoří 16,41 km² z celkové rozlohy, zemědělsky obdělávaná půda obdobně 16,73 km² a trvalý travní porost 14,56 km². Ať už se jedná o řízené zatravnění či přirozenou vegetaci, zbývající část je zpravidla zastavěna. Poslední aktuální mapa využití území z roku 2012 je vyobrazena na Obr. 9.



Obr. 9 Využití území CORINE 2012 (Podkladová Data: CENIA, Zpracování vlastní)

6.8. EROZNÍ OHROŽENOST

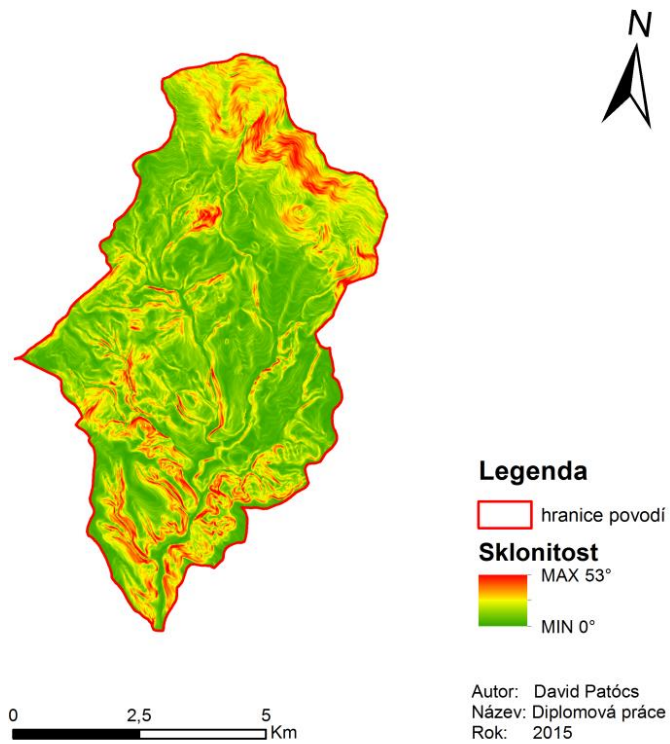
Dle podkladové vrstvy ohroženosti vodní erozí získané z WMS služby VÚMOP je značná plocha území silně ohrožena, zejména na severu v horských oblastech a v jižní části na soutoku všech vodních toků. Kategorie ohroženosti spolu s mapou jsou znázorněny na Obr. 10. Lze si všimnout, že nejohroženější půdy odpovídají charakteru sklonů svahu z Obr. 11, zejména v jižní části, kde Ještědka protéká v údolní nivě a přiléhající pozemky mohou být více náchylné k erozi.



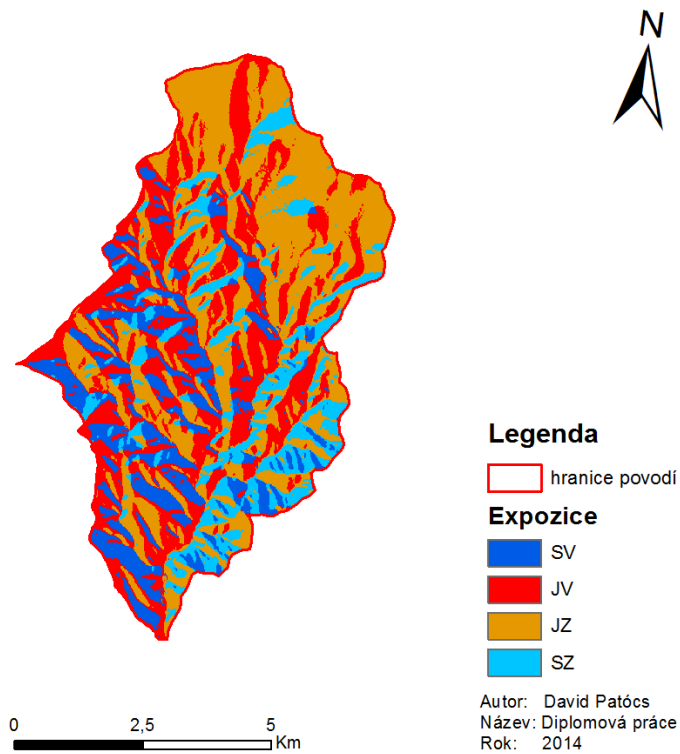
Obr. 10 Ohroženost vodní erozí (Podkladová Data: VÚMOP, Zpracování vlastní)

6.9. SKLONITOST A EXPOZICE

Nevyššími sklony svahů disponuje oblast, kde se zvedá Ještědsko-kozákovský hřbet na severu území, dále pak zejména v údolních svazích přilehajících k nivám vodních toků, jak je patrné z Obr. 11. V některých místech sklon svahů dosahuje i více než 50°, takto vysoké sklony svahů mohou negativně přispět k tvorbě vodní eroze. Z hlediska expozice svahů ke světovým stranám přiléhá 31% plochy jihovýchodu, 39% jihozápadu, 16% severovýchodu a 14% severozápadu. Z čehož vyplývá, že se svahy v území přiklánějí spíše na jih, více na Obr. 12.



Obr. 11 Sklonitost svahů (Zdroj: vlastní)



Obr. 12 Expozice svahů ke světovým stranám (Zdroj: vlastní)

7. METODIKA

V této kapitole bude popsán postup výpočtu ohroženosti vodní erozí v povodí metodou USLE v prostředí GIS. Výpočty ztráty půdy a případná protierozní opatření budou provedena ve dvou variantách, kde se bude sledovat vliv dvou různých přesností digitálních modelů terénu na výslednou ztrátu. Dále budou navržena protierozní opatření a proveden obdobný výpočet. V poslední části bude proveden výpočet na samostatném pozemku metodou USLE matematicky.

7.1. VSTUPNÍ DATA

Data vstupující do výpočtů, zdroj, účel heslovitě a jejich formát jsou uvedena v Tab. 2.

DATA	TYP/FORMÁT	ZDROJ	ÚČEL
Povodí IV. řádu	polygon/shp	DIBAVOD	zájmové území, tvorba DMR-V
Vodní toky	linie/shp	DIBAVOD	říční síť, tvorba DMR-V
BPEJ	polygon/shp	VÚMOP	R faktor
Půdní bloky	polygon/shp	LPIS	území pro výpočet USLE
Vrstevnice	linie/shp	ČÚZK	tvorba DMR-V
DMR-4G	rastr/tiff	ČÚZK	výpočet USLE

Tab. 2 Přehled vstupních dat (Zdroj tabulka: vlastní)

7.2. ZPRACOVÁNÍ VSTUPNÍCH DAT

Při jednotlivých krocích zpracování vstupních, tvorby dílčích a výstupních (výsledných) dat, byl použit následující software:

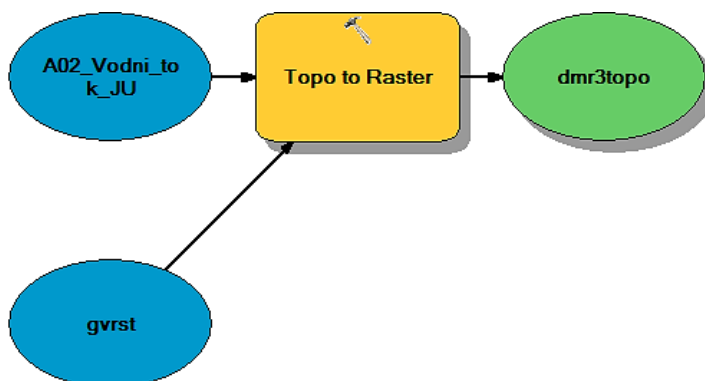
- ArcGIS for Desktop 10.2.2 pro nekomerční využití, studentská licence poskytnutá ČZU, pro tvorbu vektorových a rastrových dat;
- USLE 2D, program vyvinutý na katolické univerzitě v Lovani pro výpočet LS faktoru.
- LS converter využitý pro převod formátů vytvořených souborů mezi USLE 2D a ArcGIS

7.3. POUŽITÉ DIGITÁLNÍ MODELY RELIÉFU

Pro pozdější výpočty byly použity dva různé digitální modely reliéfu, první DMR vytvořený z výškopisu, dále jen DMR-V a DMR-4G blíže popsány v kapitole 4.5.1. Samotná tvorba DMR-V a získání DMR-4G bude popsána následovně, veškeré kroky byly provedeny v programu ArcGIS, pro jednoduchost a následnou demonstraci v prostředí Model builder.

7.3.1. Tvorba DMR-V

Pro tvorbu DMR-V byla použita liniová vrstva vrstevnic území Libereckého kraje. Do použité funkce „*Topo to raster*“ vstupuje zmíněná vrstva jako parametr „*contour*“, pro zvýšení přesnosti vstupují do výpočtu také vodní toky, parametr „*stream*“. V neposlední řadě je nutné určit velikost buňky rastru, tzv. „*cell size*“, vzhledem k velikosti území a dalším postupům se jako nejvhodnější osvědčil rozměr 3x3 m.



Obr. 13 Tvorba DMR-V pomocí výškopisu funkcí Topo to raster (Zdroj: vlastní)

7.3.2. Získání DMR-4G

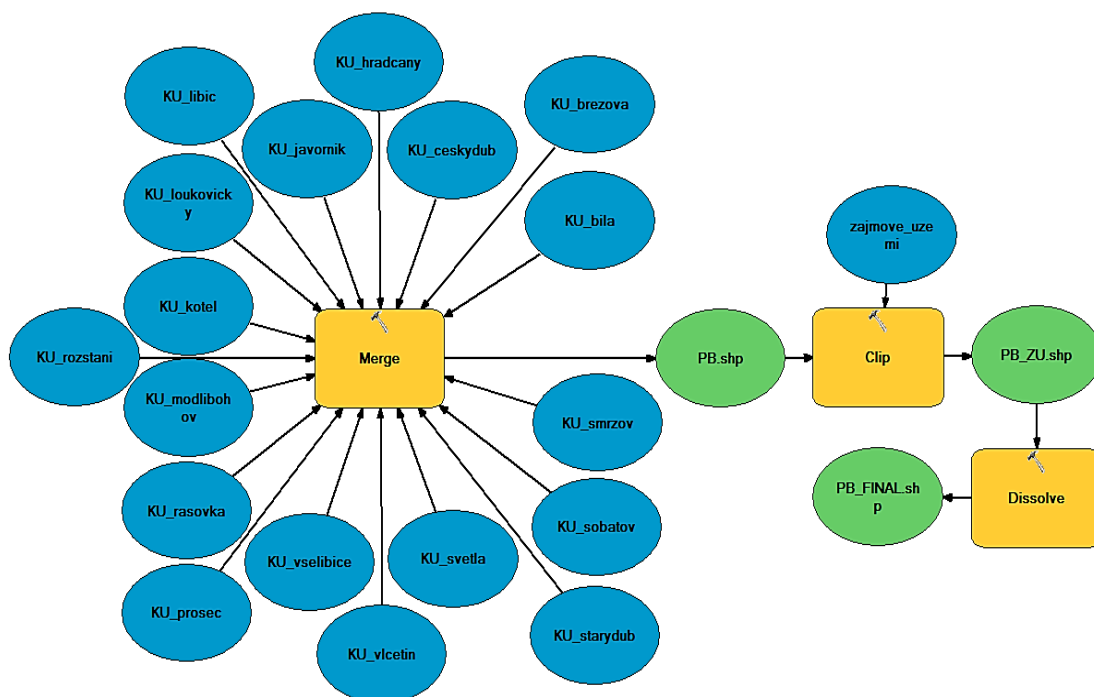
Digitální model reliéfu 4. generace lze získat v prostředí ArcGIS online, zde je k dispozici rastrová vrstva celé České republiky z geoportálu ČÚZK. Pro další práci však dostačuje rozsah rastru v rámci řešeného území, toho se docílí exportováním z online obsahu, s takto získanou vrstvou je možné dále libovolně pracovat, velikost buňky rastru činí 5x5 m.

7.4. PŮDNÍ BLOKY

Pro stanovení hodnoty ztráty půdy vlivem vodní eroze v řešeném území budou vymezeny plochy, na kterých dojde k pozdějším výpočtům. Tímto se dosáhne vyřazení částí, kde není nutné aplikovat rovnici USLE, jedná se zejména o lesy a urbanizovaná území.

Obvyklý postup spočívá ve vektorizaci orné půdy v ArcGIS, kdy se ručně ohraničí jednotlivé požadované plochy. Pro zjednodušení se nabízí využití služeb veřejného registru půdy pLPIS. Mapová aplikace této služby umožňuje exportování půdních bloků, na kterých dochází k zemědělské činnosti, do formátů editovatelných v ArcGIS. K této věci stačí znát katastrální území a jejich šestimístný kód, kde je žádoucí provést export. Výsledkem jsou k dispozici jednotlivé půdní bloky orné půdy či trvalého travního porostu, později určující hranice pro určení hodnoty ztráty půdy.

Takto získané vrstvy jednotlivých katastrálních území se spojí do jedné funkce „merge“, následně se pomocí „clip“ bloky oříznou dle hranic povodí a společné hranice pozemků sjednotí v jeden polygon funkcí „dissolve“.

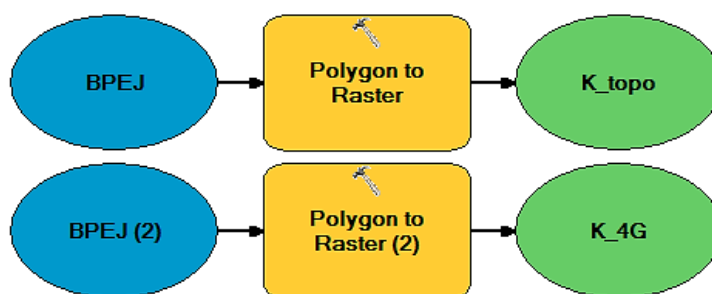


Obr. 14 Postup tvorby půdních bloků (Zdroj: vlastní)

7.5. ROVNICE USLE SOUČASNÝ STAV

7.5.1. K faktor

Faktor erodovatelnosti půdy se stanovil dle hlavní půdní jednotky, kterou lze určit z kódu bonitované půdně ekologické jednotky. Polygonovou vrstvou BPEJ poskytl pro účely této práce VÚMOP. Nejprve se k HPJ (2. a 3. číslo v pořadí BPEJ) přiřadí v atributové tabulce příslušná hodnota faktoru K, jak říká Janeček (2012), toho je možné dosáhnout pomocí příkazů „*select by attributes*“ a „*field calculator*“. Dále převod na rastrový formát funkcí „*polygon to raster*“, důležité je zvolit správný atribut pro převod, v tomto případě sloupec K faktoru. Tento krok se provede dvakrát s různým rozlišením, konkrétně 3x3 m a 5x5 m.



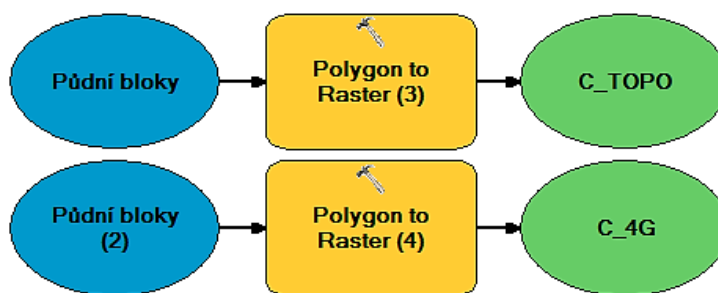
Obr. 15 Převod K faktoru na rastrový formát (Zdroj: vlastní)

7.5.2. R faktor

Faktor erozní účinnosti deště vstupuje do výpočtu jako konstanta s hodnotou $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$, jak uvádí Janeček (2012). Není tedy nutné pro R faktor vytvářet samostatnou rastrovou vrstvu.

7.5.3. C faktor

Z důvodu nemožnosti získání informací o pěstování plodin na půdních blocích s ornou půdou byl faktor ochranného vlivu vegetace určen na základě klimatických regionů v oblasti dle VÚMOP (2015). V atributové tabulce půdních bloků se vytvoří nový sloupec C faktoru, do kterého je doplněna příslušná hodnota, podle toho v jaké klimatické oblasti se území nachází. Díky atributům jsou známy také bloky s trvalým travním porostem, kterým se přiřadí konstantní hodnota 0,005. Následuje převod na rastrový formát podle atributu C faktoru, opět ve dvou rozlišeních 3x3 a 5x5 m.



Obr. 16 Převod C faktoru na rastrový formát (Zdroj: vlastní)

7.5.4. P faktor

Jelikož za současného stavu není předpoklad, že jsou dodržena protierozní opatření, vstupuje P faktor do rovnice jako konstantní hodnota 1 a není tedy nutné vytvářet samostatný rastr.

7.5.5. LS faktor

K určení hodnoty topografických faktorů LS budou využity postupně DMR popsané v 7.3.1 a 7.3.2 spolu s půdními bloky z 7.4.

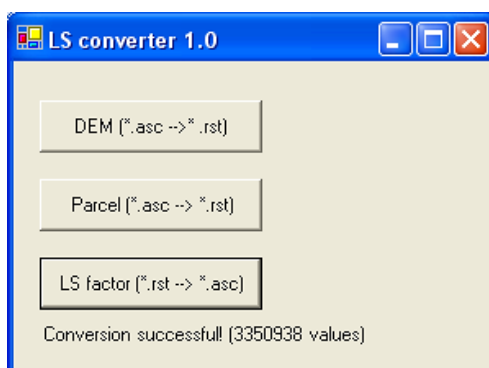
Nejprve se již získaná polygonová vrstva půdních bloků převede na rastrový formát funkcí „*polygon to raster*“, jako atribut postačí ID polygonu. Pro vstup do programu USLE2D je nutné přiřadit každé buňce rastru správné hodnoty příkazem „*reclassify*“ dle Tab. 3. Tímto se dosáhne toho, že pro buňky s hodnotou 1 bude počítán LS faktor a naopak pro buňky s nulovými hodnotami. Tento postup provedeme dvakrát s různým rozlišením buňky 3x3 m a 5x5 m.

	Původní hodnoty	Nové hodnoty
Půdní bloky	1	1
Ostatní plochy	NoData	0

Tab. 3 Přiřazení hodnot buňkám rastru (Zdroj: vlastní)

Takto vytvořené rastry je nutné spolu s oběma DMR v několika krocích převést na formát, se kterým je USLE2D schopný pracovat, jedná se o Idrisi rastrový formát (.rst). Jelikož toto ArcGIS neumožňuje, musí se využít mezikroku v podobě LS-converteru. První krok spočívá v převodu na textový soubor, pro který se používá funkce „*raster to ASCII*“.

K převodu na Idrisi v programu LS converter stačí jednoduše vložit požadovaná data pod příslušný typ příkazu dle Obr. 17 Pracovní prostředí LS converter. Aplikace rozlišuje, zda je vkládán textový soubor půdních bloků či DMR.



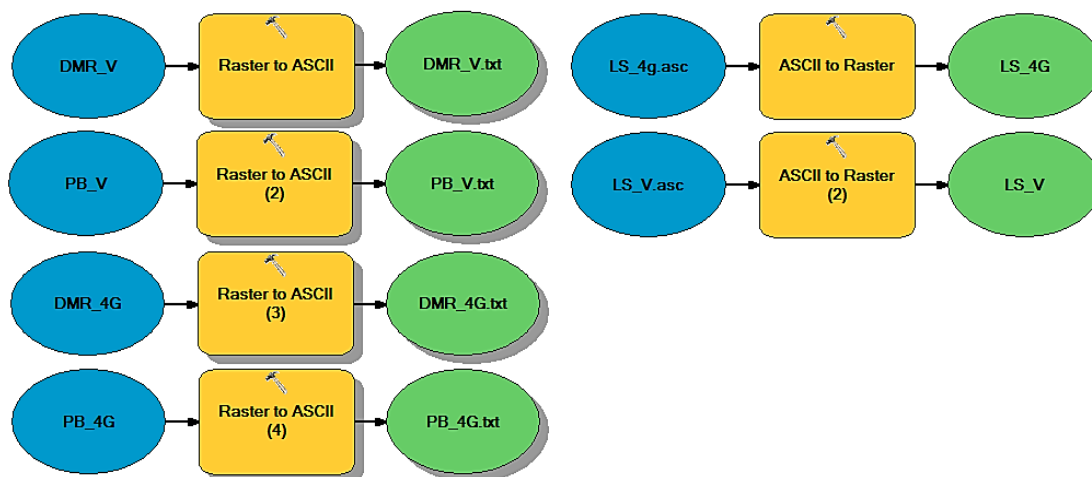
Obr. 17 Pracovní prostředí LS converter (Zdroj: snímek LS converter)

Soubory převedené do správného formátu lze nyní postupně vložit do aplikace USLE2D, kde se nejprve nastaví volitelné parametry pro výpočet LS faktoru. V tomto případě budou parametry nastaveny dle optimálního nastavení, jak říká Cajthaml (2014) „Routing Algorithm“ na „Flux Decomposition“ a „LS Algorithm“ na „McCool“, nastavení také na Obr. 18. V průběhu výpočtu LS faktoru, USLE2D postupně vyzve k vložení DMR a půdních bloků, výsledkem je již samotný Idrisi rastr. Tento postup je nutné provést pro oba typy DMR.



Obr. 18 Pracovní prostředí USLE2D (Zdroj: snímek USLE 2D)

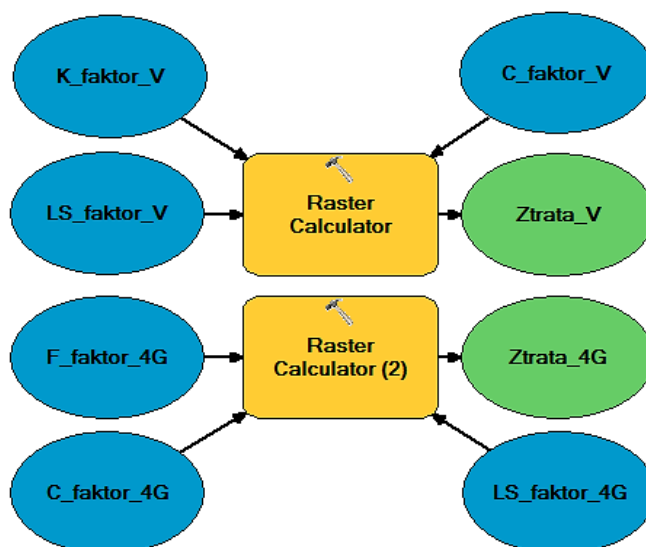
Nyní přichází na řadu opět převod souborů, nejprve rastrů LS faktoru z Idrisi na textové soubory za využití LS converter, znovu je z nabídky dle Obr. 17 jednoduše k dispozici požadovaný typ převodu. Po tomto kroku je možné v ArcGIS vyvolat funkci „ASCII to raster“ a data jsou převedena na výsledné rastry LS faktorů, vypočtených dle DMR-V a DMR-4G. Přehledné mapy obou variant jsou k dispozici v příloze č. 2 a 3.



Obr. 19 Převod rastru na textový soubor (vlevo), textový soubor LS faktoru na rastr (vpravo). (Zdroj: vlastní)

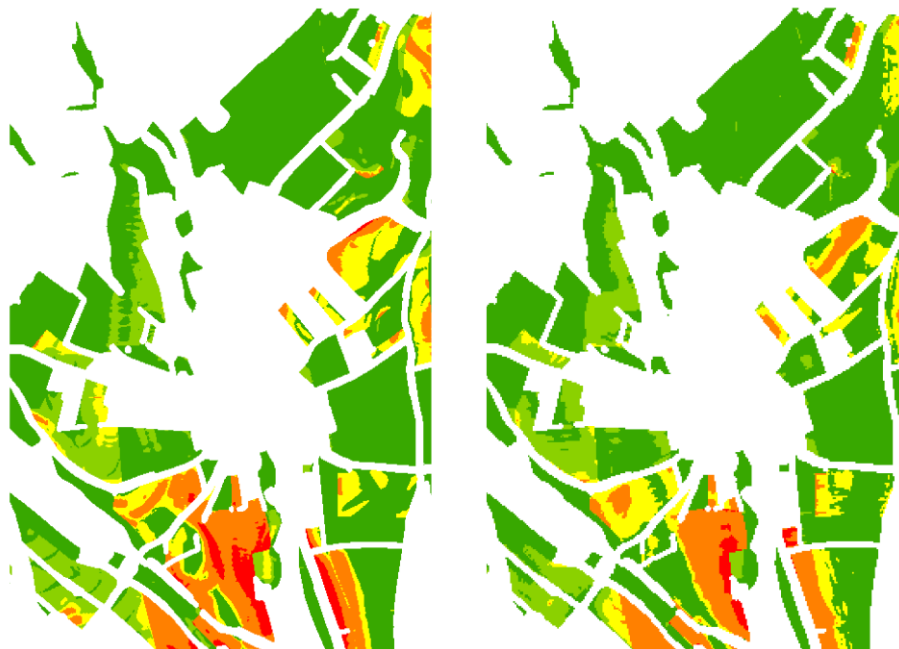
7.5.6. Roční ztráta půdy G

Pro finální výpočet rovnice USLE, která spočívá v součinu doposud vytvořených rastrů jednotlivých faktorů či jejich konstant. Jako nejvhodnější se nabízí využití mapové algebry ArcGIS, konkrétně „*Raster calculator*“. Zde se pouze provede výběr vstupních vrstev, jak je vidět na Obr. 20 Konečný výpočet ztráty půdy.



Obr. 20 Konečný výpočet ztráty půdy (Zdroj: vlastní)

Z důvodu velikosti řešeného území není na místě zde zobrazovat konečné výstupy v plném rozsahu, proto budou demonstrovány pouze vybrané výřezy. Pro každý z těchto výřezů naleznete odpovídající přílohu plné velikosti v seznamu příloh kapitola 13.



Obr. 21 Roční ztráta půdy dle DMR-V vlevo a dle DMR-4G vpravo (zelená nejnižší; červená nejvyšší). (Zdroj: vlastní)

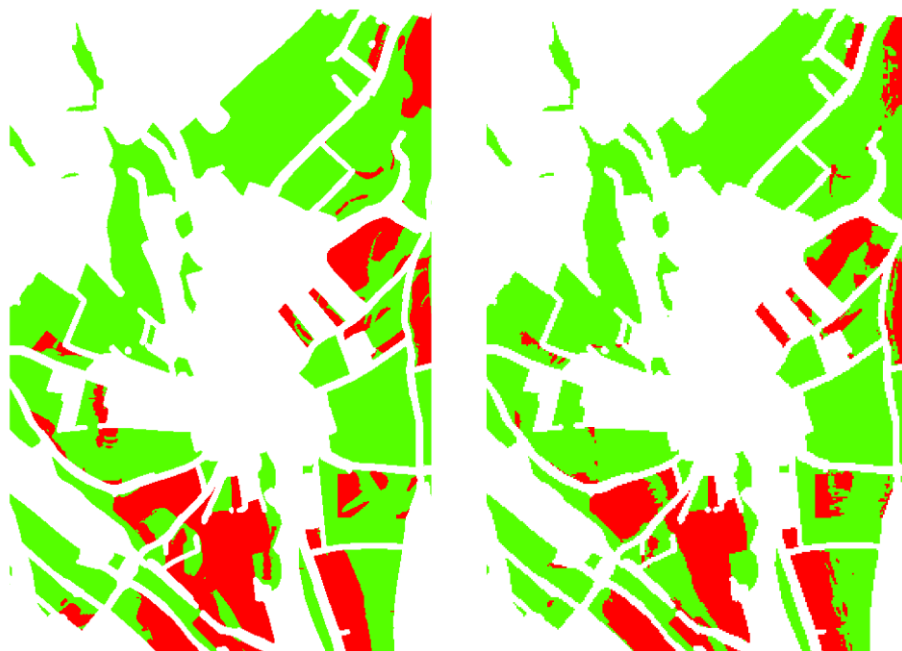
Na Obr. 21 vlevo je možné vidět konečnou roční ztrátu vypočtenou za pomoci DMR-V, vpravo je pak ztráta získaná díky DMR-4G. Již od pohledu jsou patrné vcelku značné rozdíly. Výsledné mapy naleznete v příloze č. 4 a 5.

7.5.7. Přípustná ztráta

Při stanovení přípustné ztráty půdy vychází Janeček (2012) z 5. čísla kódu BPEJ, které udává příslušnou hloubku půdy. Pro půdy mělké s číslicemi 5, 6, 8 a 9 činí přípustná ztráta $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}$. Na půdách středně hlubokých a hlubokých s číslicemi 0, 1, 2, 3, 4 a 7, je povolena ztráta $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}$.

Postup je obdobný jako při vytváření rastru K faktoru v kapitole 7.5.1. Stručněji popsáno, v atributové tabulce se vytvoří nový sloupec, kterému je přiřazena nová hodnota 1 nebo 4 na základě BPEJ. Tento atribut bude jako klíčový ve funkci „*polygon to raster*“ a tímto lze vytvořit požadovaný rastr přípustné ztráty půdy.

Nyní se konečně výpočet ubírá k posouzení, zda je vypočtený odnos půdy v souladu s přípustnými hodnotami. Pro tyto účely se využívá funkce „*Greater than equal*“, jako první vstupuje parametr, který bude porovnáván, v tomto případě rastr s hodnotami G. Druhý parametr udává hodnotu, dle které se bude porovnávat, tedy rastr přípustné ztráty půdy. Výsledkem je nový grid s hodnotami 1 (vyšší nebo rovno) a 0 (nižší).



Obr. 22 Posouzení limitu přípustné ztráty, hodnocení dle DMR-V vlevo a dle DMR-4G vpravo (zelená nižší než limit; červená vyšší než limit). (Zdroj: vlastní)

Znovu lze na Obr. 22 spatřit patrné rozdíly mezi výsledky ovlivněnými použitím DMR-V vlevo a DMR-G vpravo. Podrobnější porovnání bude uvedeno ve výsledkové části později. Finální podobu celého území obsahují mapy v přílohách č. 7 a 8.

7.6. ROVNICE USLE PO NÁVRHU PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ

7.6.1. K faktor

V hodnotách faktoru K nedochází ke změnám a pro výpočet erozní ohroženosti po návrhu protierozních opatření budou použity rastrové soubory o velikosti 3x3 a 5x5 m z kapitoly 7.5.1.

7.6.2. R faktor

R faktor zůstává v tomto případě nezměněný, tedy dle kapitoly 7.5.2 v hodnotě $40 \text{ MJ*ha}^{-1}\text{*cm*h}^{-1}$. Jelikož se opět jedná o konstantu pro celé území, není třeba tvorby gridu.

7.6.3. C faktor

Jedním z faktorů, které mohou nejvíce přispět k ovlivnění výsledné ztráty půdy je právě ochranný vliv vegetace.

Nejprve se navrhuje opatření organizačního charakteru. Žádná ze zemědělských ploch se nenachází na svazích, které přesahují sklon 50% a není tak nutné přistupovat k zalesňování. Svahy se sklonem od 25% výše se již vyskytují častěji a tak v těchto místech, na kterých se zároveň v současnosti nachází orná půda, dojde k zatravnění, jak doporučuje Janeček (2002), tyto svahy zatravnit. Hodnota C faktoru se tímto sníží na 0,005. Trvalým travním porostem budou pokryty, pokud je to nutné, i horní a dolní části bloků a místa se soustředěným povrchovým odtokem, tedy nejčastěji údolnice.

Pro zjištění požadované sklonitosti v území je možné použít libovolný DMR z kapitoly 7.3 a funkce „Slope“ vytvoří rastr svažitosti. Na výběr jsou k dispozici sklony ve stupních a procentech, pro nynější účely postačí druhé jmenované. Použitý rastr DMR samozřejmě ovlivňuje přesnost gridu a z toho důvodu byl pro tento krok použit přesnější DMR-4G.

Pro zbylé půdní bloky byl dále navržen pětiletý osevní postup střídání plodin. Výsledná hodnota C faktoru je tak 0,070 dle Tab. 4.

Jelikož se při přiřazování hodnot C faktoru jednotlivým půdním blokům pracuje až do této fáze s vektorovými daty, budou nyní vytvořeny opět dva rastry s různým rozlišením. Shodný postup s kapitolou 7.5.3.

			Korekce R faktorem		
Plodina	Období	Doba	C Faktor	R Faktor	C x R
Jetel (rok podsevu)		21.7.-31.3.	0,015	0,442	0,007
Jetel (pěstební období)		1.4.-20.9.	0,015	0,989	0,015
Ozimá obilnina setá do zorané půdy	1	21.9.-25.9.	0,500	0,003	0,002
	2	26.9.-31.10.	0,550	0,007	0,004
	3	1.11.-30.4.	0,300	0,005	0,002
	4	1.5.-31.7.	0,050	0,660	0,033
	5s	1.8.-31.8.	0,200	0,311	0,062
Řepka ozimá (jako obilnina) setá do strniště	1	1.9.-25.9.	0,250	0,003	0,001
	2	26.9.-31.10.	0,250	0,007	0,002
	3	1.11.-30.4.	0,200	0,005	0,001
	4	1.5.-31.7.	0,080	0,660	0,053
	5s	1.8.-31.8.	0,040	0,311	0,012
Ozimá obilnina setá do strniště	1	1.9.-25.9.	0,250	0,003	0,001
	2	26.9.-31.10.	0,250	0,007	0,002
	3	1.11.-30.4.	0,200	0,005	0,001
	4	1.5.-31.7.	0,080	0,660	0,053
	5s	1.8.-31.8.	0,040	0,311	0,012
Jarní obilnina s podsevem setá do zorané půdy	1	1.9.-14.3.	0,650	0,024	0,016
	2	15.3.-30.4.	0,700	0,005	0,004
	3	1.5.-31.5.	0,450	0,070	0,032
	4	1.6.-20.7.	0,080	0,483	0,039
			Σ	5,0	0,350
			C Faktor		0,070

Tab. 4 Návrh osevního postupu (Zdroj: vlastní)

7.6.4. P faktor

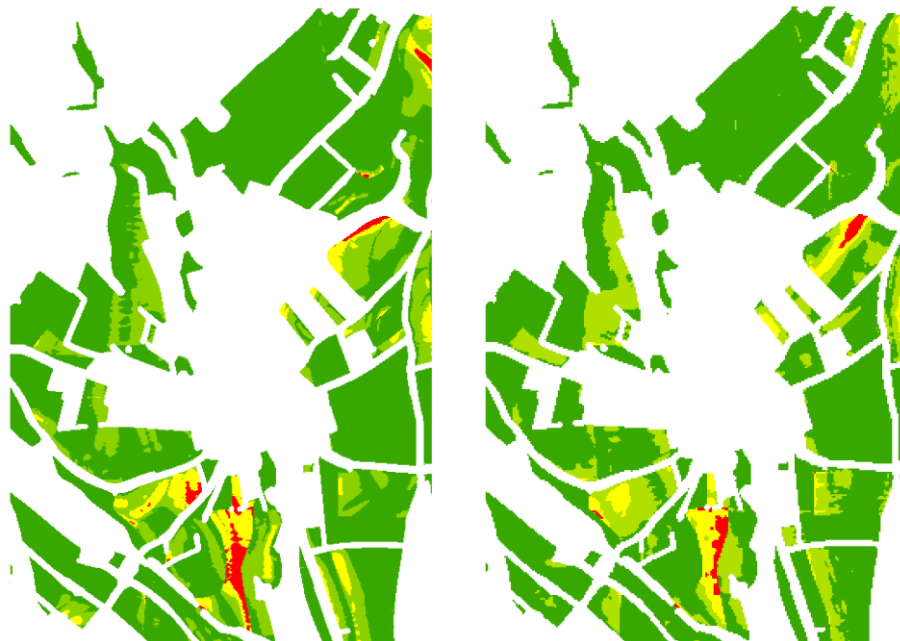
Vzhledem k členitosti území a tvaru pozemků není na místě navržení protierozních opatření ovlivňujících faktor P a z toho důvodu zůstává hodnota rovna 1, pro kterou není třeba samostatného gridu.

7.6.5. LS faktor

Ovlivnění topografických faktorů spočívá nejčastěji v přerušení drah povrchového odtoku, např. rozdělením příliš dlouhých pozemků s nepřerušenu dráhou. Na území se nenachází půdní bloky s extrémními délkami svahů, na kterých by vznikala příliš dlouhá odtoková dráha, a proto nebudou rozděleny. Hodnoty LS faktoru zůstávají neměnné a do výpočtu vstoupí rastry vytvořené v kapitole 7.5.5.

7.6.6. Roční ztráta půdy G po návrhu PEO

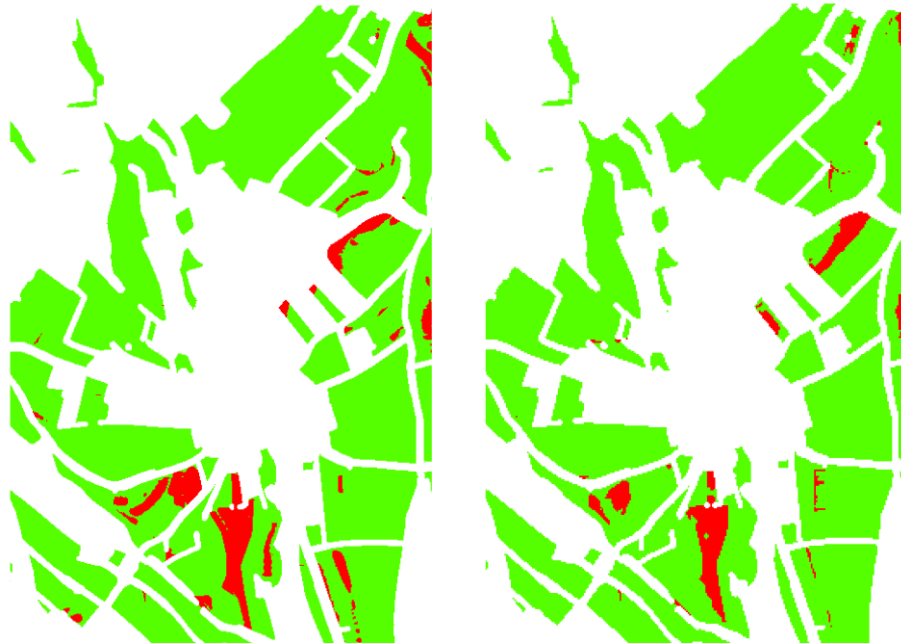
Nyní bude stejným způsobem jako v kapitole 7.5.6 proveden součin všech výše uvedených faktorů, jež jsou součástí rovnice USLE, pomocí funkce „*raster calculator*“. Výřezy ze vzniklých rastrů podle použitého DMR-V vlevo a DMR-4G vpravo jsou na Obr. 23. Finální podoba map je v přílohách č. 8 a 9.



Obr. 23 Roční ztráta půdy s PEO vlevo dle DMR-V a dle DMR-4G vpravo (zelená nejnižší; červená nejvyšší) (Zdroj: vlastní)

7.6.7. Přípustná ztráta po návrhu PEO

Rastr přípustné ztráty půdy je nyní již vytvořený z kapitoly 7.6.7 a tak postačí přistoupit k posouzení funkcí „Greater than equal“. Zadají se požadované parametry hodnot G a limitu nejvyšší roční ztráty a vytvoří se výsledek, zda byly tyto maximální hodnoty překročeny i po návrhu protierozních opatření či nikoli viz Obr. 24. Jako v ostatních případech je možné vyzorovat rozeznatelné odlišnosti ztrát dle DMR-V vlevo a DMR-4G vpravo. Mapy překročení limitů v plné velikosti jsou k dispozici v přílohách č. 10 a 11.



Obr. 24 Posouzení limitu přípustné ztráty po návrhu PEO vlevo dle DMR-V, vpravo dle DMR-4G (zelená nižší než limit; červená vyšší než limit). (Zdroj: vlastní)

7.7. MANUÁLNÍ VÝPOČET NA VYBRANÉ PARCELE

Manuální stanovení roční ztráty půdy bude sloužit pouze pro porovnání výsledků oproti hodnotám, které vzešly z výpočtů za využití GIS. Tento krok není možný, kvůli náročnosti práce z důvodu rozsáhlosti území, provést na celém území. Z tohoto důvodu se vybere parcela, která bude pro provedení určení G nejvhodnější. Pro další výpočty byla vybrána parcela, kde celková plocha činí 4,32 ha a průměrný sklon svahu se pohybuje na hodnotě 8%. Ztráta se následně vypočte na dvou nepřerušovaných odtokových drahách, jak je patrné na Obr. 25.



Obr. 25 Půdní blok s dráhami odtoku (Zdroj: vlastní)

Parametry odtokových drah jsou následující:

- linie A, délka 175 m, převýšení 14 m, průměrný sklon 8%;
- linie B, délka 140 m, převýšení 11,2 m, průměrný sklon 8%

Faktor délky svahu se vypočte z níže uvedeného vztahu, který uvádí Janeček (2012).

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

Pro faktor sklonu svahu se vychází ze vztahů:

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

$$S = 16,8 \sin \theta - 0,50 \text{ pro sklon nad } 9\% \text{ včetně.}$$

Dále Janeček (2012) uvádí, že pokud má být vystihnuta proměnlivost svazitosti na odtokové dráze, rozděluje se na deset stejně dlouhých segmentů a výsledný faktor sklonu svahu se stanoví z rovnice:

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

Další jednotlivé faktory vstupující do rovnice USLE není nutné zde podrobněji uvádět, jejich hodnoty je možné převzít z přechozích kapitol pro současný stav i po návrhu protierozních opatření. V Tab. 5 jsou uvedeny hodnoty pro každý vypočtený či převzatý faktor.

Linie A				Linie B			
Současný stav		Po návrhu PEO		Současný stav		Po návrhu PEO	
Faktor	Hodnota	Faktor	Hodnota	Faktor	Hodnota	Faktor	Hodnota
K	0,583	K	0,583	K	0,590	K	0,590
L	2,698	L	2,698	L	2,424	L	2,424
R	40,000	R	40,000	R	40,000	R	40,000
S	1,001	S	1,001	S	1,102	S	1,102
C	0,204	C	0,070	C	0,204	C	0,070
P	1,000	P	1,000	P	1,000	P	1,000
G	12,848	G	4,409	G	12,860	G	4,413

Tab. 5 Tabulka faktorů na půdním bloku (Zdroj: vlastní)

Roční ztráta půdy tedy činí za současného stavu 12,8 t*ha⁻¹*rok, po návrhu protierozních opatření 4,4 t*ha⁻¹*rok. Dle 5. Číslice kódu BPEJ se na parcele nachází půdy hluboké, přípustná ztráta na těchto půdách činí 4 t*ha⁻¹*rok, čehož není možné dosáhnout za současného stavu hospodaření. Po návrhu protierozních opatření se ztráta pohybuje téměř ve stanovené normě.

8. VÝSLEDKY

V této kapitole bude postupně pospáno a porovnáno, jaký má vliv použitý DMR a jeho přesnost na hodnoty ročního odnosu půdy. Pro připomenutí je vhodné uvést, že DMR-V byl vytvořen v rozlišení buněk 3x3 m a taktéž další s tím související výstupy. Kdežto DMR-4G je dostupný v minimálním rozlišení 5x5 m, obdobně je tomu u rastrů vytvořených na tomto základě. I tato skutečnost, mimo rozdílnou přesnost obou DMR, může mít vliv na prezentované výsledky.

Na území se nachází velké množství ploch s trvalým travním porostem, proto došlo v průběhu výpočtů ke zjištění, že tyto plochy výrazně ovlivňují či snižují statistické ukazatele. Proto při porovnávání výsledků budou brány v potaz pouze půdní bloky, na jejichž území se za současného stavu nachází orná půda. Při návrhu protierozních opatření jsou již navržená území s novým travním porostem do srovnání zahrnuta.

Pro získání základních statistických dat z jednotlivých rastrů ztrát půdy je možné využít funkce „*Zonal statistics as table*“ v ArcGIS. Na výběr je také možnost tyto ukazatele prezentovat i jako samostatné rastry, avšak jako vhodnější se jeví tabulkové vyjádření z důvodu další práce s těmito výstupy a demonstrace v podobě grafů.

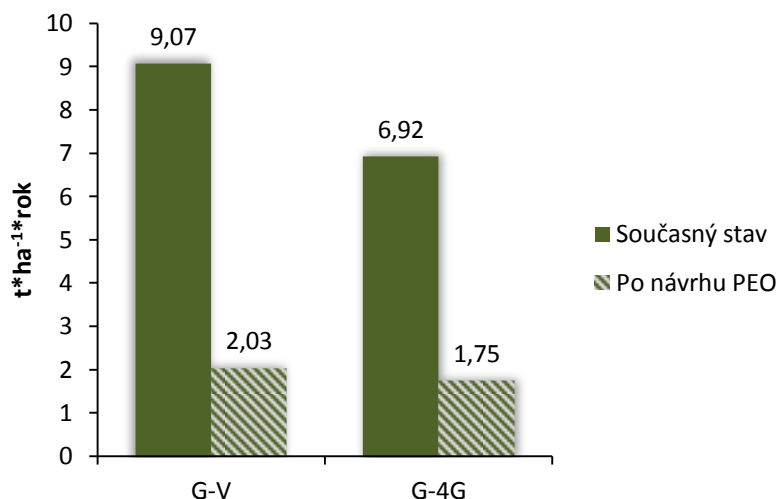
V případě přípustných ztrát půdy je vhodnější procentuální srovnání výsledků pro všechny scénáře, již s půdními bloky na celém území, včetně těch s trvalým travním porostem.

Nakonec budou výše zmíněné výstupy srovnány s ručním výpočtem z kapitoly 7.7, pouze na vybrané parcele.

8.1.1. Srovnání ztrát půdy

Z grafu na Obr. 26 jsou vlevo patrné průměrné roční ztráty pro současný stav (plná výplň G-V) a po návrhu protierozních opatření (šrafovaný sloupec G-V), za použití DMR-V. Navržená opatření snižují ztrátu o 7,04 t*ha⁻¹*rok, což je průměrný pokles o 63%. V případě použití DMR-4G (sloupce G-4G vpravo) ztráta klesla o 5,17 t*ha⁻¹*rok neboli 60%.

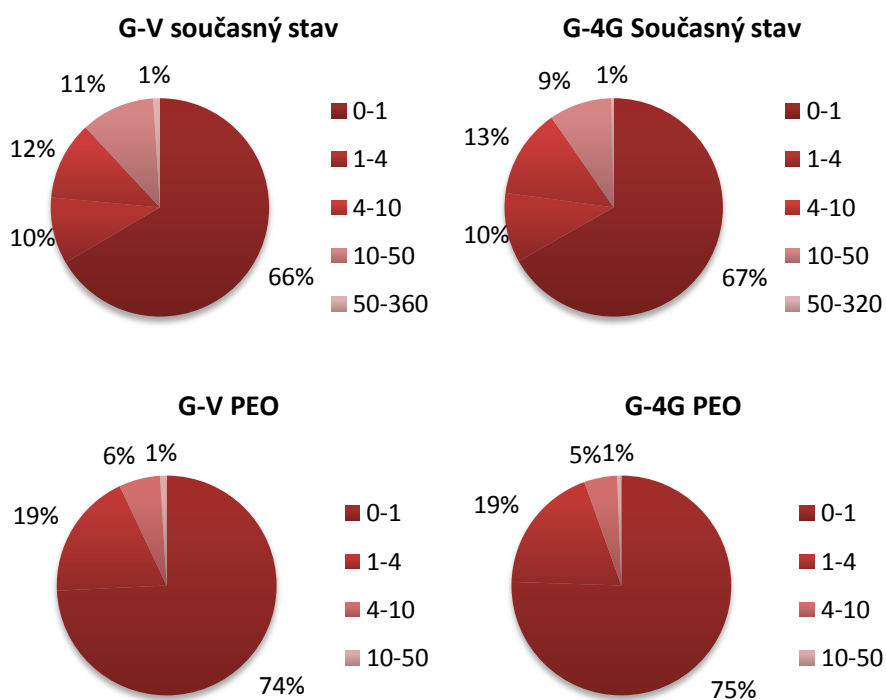
Při porovnání G-V a G-4G vznikne pro současný stav rozdíl 2,15 a po návrhu PEO 0,28 t*ha⁻¹*rok⁻¹, což je pokles o 13% respektive 8%. Z tohoto vyplývá, že i přes nižší rozlišení DMR-V, výpočet s podrobnějším DMR-4G zvyšuje i spolehlivost zjištěných dat.



Obr. 26 Graf srovnání ročních ztrát půdy (Zdroj: vlastní)

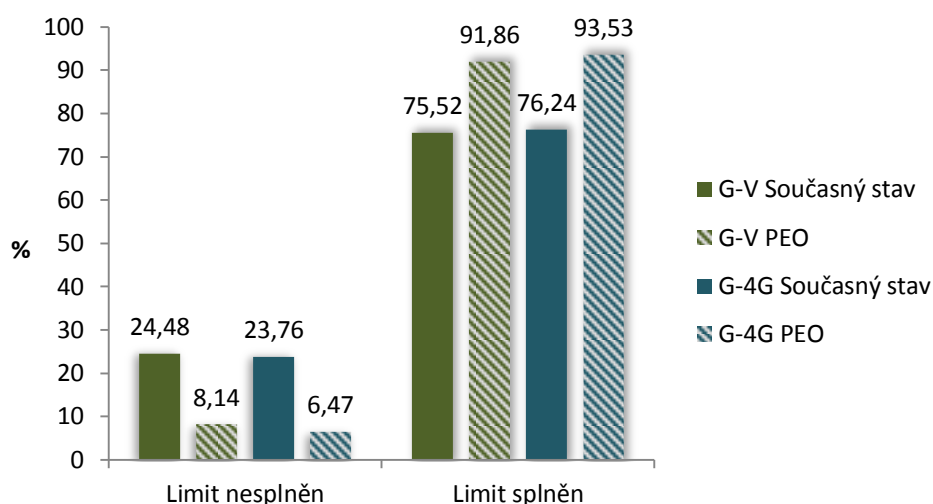
8.1.2. Srovnání přípustné ztráty půdy

Pokud se ztráty půdy rozdělí do kategorií po intervalech patrných z grafů na Obr. 27, vzniknou procentuální zastoupení, na jaké ploše z celkového území se nachází příslušný interval z těchto ztrát. Znovu lze spatřit, jak snížení za účinku navržených protierozních opatření, tak pokles hodnot při použití DMR-4G.



Obr. 27 Procentuální zastoupení ztrát půdy vzhledem k celkové ploše (Zdroj: vlastní)

V souvislosti s výše uvedenými intervaly je možné i určit kolik procent plochy překročilo či nepřekročilo maximální přípustný roční odnos půdy vlivem vodní eroze. Tato překročení však byla zjištěna v prostředí ArcGIS, jak je uvedeno v kapitolách 7.5.7 a 7.6.7. Na Obr. 28 je patrný obvyklý trend nárůstu procentuálního splnění limitu ztráty, ovlivněné použitím DMR-4G při výpočtech. Navržená protierozní opatření zvýšila splnění podmínek v průměru o 17%.

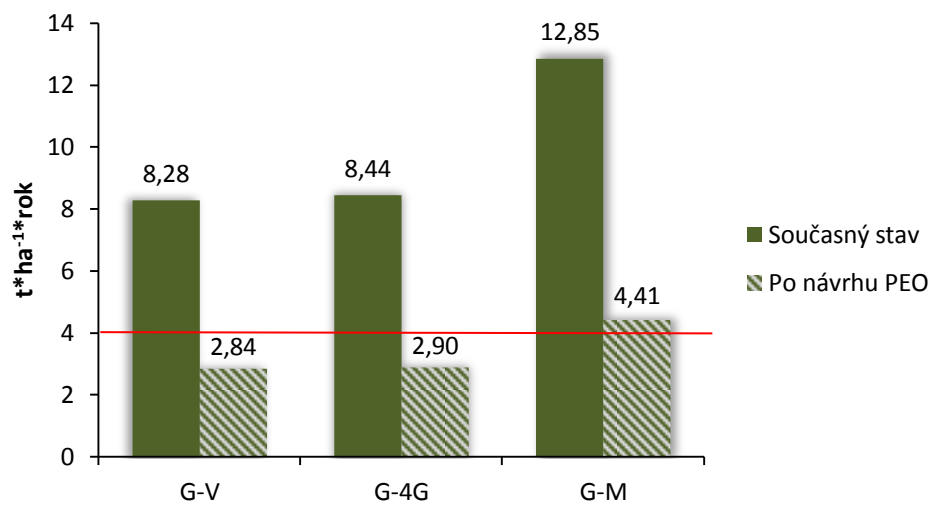


Obr. 28 Splnění limitů přípustné ztráty půdy (Zdroj: vlastní)

8.1.3. Srovnání ztráty a přípustné ztráty půdy na vybrané parcele

V této části se porovnání omezí pouze na plochu parcely vybrané pro ruční výpočet v kapitole 7.7. Na Obr. 29 vznikla opačná skutečnost, než v předchozích kapitolách porovnávání výsledků a to vyšší hodnoty ztráty půdy G-4G, než je tomu u G-V. Zde je pravděpodobné ovlivnění různým rozlišením rastrů vzhledem k celkem malé ploše. Ověřením manuální metodou vzešlo možné podhodnocení výsledků za použití GIS. Ztráta půdy je o necelých 5 t*ha⁻¹*rok vyšší, než je tomu u čísel z GIS při současném stavu. Po návrhu PEO jde o odchylku téměř 1,7 t*ha⁻¹*rok. Pokud je zmíněna plocha parcely 4,32 ha, jedná se o dosti vysoké číslo.

Vodorovná červená čára ukazuje hranici maximální přípustné ztráty na parcele, současný stav zcela nevyhovuje v žádném z případů. Po návrhu PEO tuto hranici překračuje o 0,41 t*ha⁻¹*rok výsledek z manuální metody. Hodnoty vypočtené v GIS jsou vyhovující, avšak je vhodné opět uvést v potaz možné podhodnocení.



Obr. 29 Srovnání ztrát půdy na vybrané parcele (Zdroj: vlastní)

9. DISKUSE

Celkově je vyhodnocení ohroženosti vodní erozí v programu ArcGIS poměrně nenáročnou záležitostí. Při tvorbě rastrů jednotlivých faktorů rovnice USLE nedocházelo ke větším problémům, až do chvíle výpočtu topografických faktorů L a S. ArcGIS tento výpočet neumožňuje a tato fáze se běžně provádí v programu USLE 2D. Program USLE 2D není kompatibilní s 64 bitovými operačními systémy, což je v současnosti značný problém. Jedním z mála řešení je spuštění programu na PC s 32 bitovým systémem Windows XP, který nyní již nemá podporu a brzy jej nebude možné na běžných PC spatřit. Dalším možným úskalím může být omezení práce USLE 2D pouze s rastrovými formáty Idrisi. Při instalaci aplikace na převod mezi obrazovými formáty a Idrisi se rovněž vyskytl problém a rovněž musel být nápomocen OS Windows XP.

Použití různě vytvořených digitálních modelů může výrazně ovlivňovat výsledné hodnoty. První použitý DMR byl vytvořen pomocí vrstevnic funkcí „*Topo to raster*“ v programu ArcGIS. Na první pohled se tento digitální model nijak neliší od druhého použitého, tedy od DMR 4. Generace, nanejvýš mírnými odchylkami v nadmořských výškách, které jsou však v mezích. Rozdíl nastává již po výpočtu LS faktoru v USLE 2D. Z porovnání obou mapových výstupů je patrné, že LS faktor dle DMR vytvořený z vrstevnic na mnoha místech nabývá podobných hodnot, které kopírují vrstevnice terénu. Tato skutečnost se odráží i do následných celkových ročních ztrát půdy. Kdežto v případě DMR 4. generace a „jeho“ LS faktoru jsou hodnoty plošně rozprostřena a evokují přirozenější dojem.

Při zjišťování podkladových dat pro vytvoření rastru C ochranného vlivu vegetace je příhodné kontaktovat příslušné hospodářské celky a výpočty pro současný stav provádět dle skutečných informací. Pokud je v řešení území s velikostí v řádech desítek kilometrů čtverečních a více, může se vyskytnout vysoká rozmanitost hospodářských firem. Kontaktování těchto firem a získání nějakých informací o pěstebních postupech je téměř nemožné. Výsledkem jsou buď jen částečná data, nebo zcela žádná. Vrstva faktoru C tedy neodpovídá skutečnosti hospodaření a výsledky mohou být ne zcela korektní.

Na území byla navržena ochranná protierozní opatření v podobě zatravnění částí pozemků s vysokým sklonem svahů a v místech, kde by mohlo docházet k přirozenému soustřeďování odtoku. Dále byl navržen pětiletý osevní postup pro snížení hodnot faktoru. Jedná se tedy o kombinaci organizačních a agrotechnických opatření, technická opatření navrhována nebyla. Vzhledem k morfologii území, které

se nachází na úpatí Jizerských hor, je už tak poměrně vysoká část půdních bloků, určených k zemědělské činnosti, pokryta trvalým travním porostem. Zatravňování dalších půdních bloků určených pro zemědělskou výrobu, se tak může setkat s nelibostí zemědělských podniků a jejich přístup tak nemusí být vstřícný, s ohledem na ochranu půdního fondu.

Takto plošně použitá metoda USLE, kterou byly provedeny výpočty, nemusí ukazovat plně korektní data přípustných ztrát půdy, protože nedochází k vyloučení míst, kde nemá rovnice USLE platnost. Např. v místech údolnic a dalších, kde dochází k přirozenému soustředování odtoku. Z tohoto důvodu je možné, že místa, která překračují přípustné ztráty půdy, vycházejí z těchto nekorektních výsledků. Řešením by mohlo být využití nástroje USLE Threshold, který popisuje Cajthaml (2014), došlo by tak k vyřazení míst mimo platnost USLE. Nástroj se pro účely této práce nepodařilo dohledat a tak nemohla být dotčená místa řádně vyloučena z výpočtů. Nejedná se o veřejně dostupný nástroj.

Veškeré kroky při stanovení faktorů USLE byly provedeny dle aktualizované metodiky prof. Ing. Miloslava Janečka, DrSc. vydané v roce 2012. V této aktualizaci došlo k navýšení doporučené průměrné hodnoty R faktoru z 20 na 40 $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$. Dále došlo ke zpřísnění hodnocení přípustné ztráty půdy u hlubokých půd z 10 na 4 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}$. Tato skutečnost může výrazně ovlivňovat výsledky i navržená protierozní opatření. Podle staré metodiky může být scénář velmi rozdílný.

Při porovnávání výsledků z GIS aplikace a matematické metody USLE bylo zjištěno určité podhodnocení výsledků metodou uplatněnou v ArcGIS. Je na místě uvést fakt, že GIS se využívá pro výpočty na rozsáhlých územích, kdežto manuální výpočet je možné uplatnit pouze na konkrétní místa. Nicméně i přes tuto skutečnost si výraznější odchylky mezi automatizovanými a ručními výpočty zaslouží pozornost.

10. ZÁVĚR

Dle platných metodik bylo provedeno vyhodnocení ohroženosti vodní erozí na celkem čtyřech povodích IV. řádu. Vyhodnocení probíhalo ve dvou variantách, s použitím DMR 4. generace a DMR vytvořeným interpolací dle výškopisu. Výpočtem metodou USLE aplikovanou do prostředí GIS došlo ke zjištění, že současný způsob využití půdních bloků dle databáze LPIS nevyhovuje přípustné ztrátě půdy maximálně $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}$ a dle scénáře DMR-V překračuje tuto hodnotu na 24,48 % řešených ploch. V případě scénáře DMR-4G byla hodnota překročena na 23,76 % plochy.

Z tohoto důvodu byla navržena organizační opatření v podobě zatravnění nejvíce ohrožených ploch, dolních částí svahů a údolnic. Dále byl navržen pětiletý osevní postup střídání plodin pro zvýšení ochrany půdy vegetací. Tato protierozní opatření snížila překročení přípustné ztráty na 8,14 % respektive 6,47 % plochy půdních bloků. Vzhledem k charakteru opatření nebyla zkoumána přípustná ztráta pro jednotlivá opatření zvlášť, jelikož by tyto varianty neměly nijak výrazný ochranný účinek samotné. Doporučuji tedy přistoupit k volbě kombinace zvolených opatření.

Porovnání dvou variant dle DMR-V a DMR-4G poukázalo na skutečnost, že vyšší přesnost digitálního modelu terénu může ovlivnit výsledné hodnoty pro návrh protierozních opatření, tím i hodnoty po posouzení jejich účinku. Varianta s přesnějším DMR-4G vykazovala snížení přípustných ztrát půdy v průměru o 1,5 % oproti DMR-V. Vyšší přesnost DMR tedy může snížit ekonomickou stránku realizace protierozních opatření a naopak může docházet ke snížení účinnosti těchto opatření s ohledem na použití méně přesných podkladů, které dimenzování ochrany mohou nadhodnotit.

11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BRÁZDIL, Karel et al. *Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace DMR 4G* [online]. Zeměměřický úřad Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, 2012 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z:

http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_4G_15012012.pdf

CAJTHAML, Jiří et al. *Sborník abstraktů konference GIS a životní prostředí 2014*. Praha: ČVUT Fakulta stavební, 2014. ISBN 978-80-01-05498-7.

DOLEŽAL, Petr et al. *Metodický návod k provádění pozemkových úprav* [online].

Praha: Ministerstvo zemědělství, 2010, 1.5.2012 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z:

http://eagri.cz/public/web/file/49495/metodika_text_pro_web_po_revizi_aktualiz.20.4.2012.pdf

DUMBROVSKÝ, Miroslav a Miroslav ŠINDLAR. *Zvýšení protipovodňové ochrany v povodí - přírodě blízká protipovodňová a protierozní opatření* [online]. Praha:

Ministerstvo životního prostředí, 2010. [cit. 2015-04-10]. ISBN 978-80-254-6828-9.

Dostupné z: <http://www.vodavkrajine.cz>

HOLÝ, Miloš. *Protierozní Ochrana*. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1978. ISBN 800-10-107-83.

HROMEK, Jan et al. *LESPROJEKT. KONCEPCE OCHRANY PŘÍRODY A KRAJINY LIBERECKÉHO KRAJE A – Analytická část* [online]. Liberec: Krajský úřad Libereckého kraje, 2004 [cit. 2014-11-21]. Dostupné z:

http://www.kraj-lbc.cz/public/kopk_a_241_2_2fc038822e.pdf

JANEČEK, Miloslav et al. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.

JANEČEK, Miloslav et al. *Základy erodologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1842-7.

JANEČEK, Miloslav et al. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV nakladatelství, 2002. ISBN 80-85866-86-2.

KLIMÁNEK, Martin. *Digitální modely terénu*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006. ISBN 80-7157-982-3.

NOVOTNÝ, Ivan et al. *Příručka ochrany proti vodní erozi* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2014 [cit. 2015-04-08]. ISBN 978-80-87361-33-7. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/293635/MZE_prirucka_vodni_eroze.pdf

MAYER, Petr. *Počítačové Modelování Krajiny*. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 800-10-138-98.

ORŠULÁK, Tomáš a Jan PACINA. *3D modelování a virtuální realita* [online]. Ústí nad Labem: Ing. Tomáš Mikulenka, 2012 [cit. 2014-04-12]. ISBN 978-80904927-4-5. Dostupné z: <http://cevramok.ujep.cz/files/opora-3.pdf>

PÍRKOVÁ, Ivana, Jan VOPRAVIL a Jana SMOLÍKOVÁ. *Statistika půd ohrožených degradací v ČR za rok 2012* [online]. VÚMOP, v.v.i., 2008. [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.vumop.cz/>

PODHRÁZSKÁ, Jana et al. *Návrh a hodnocení účinnosti systému komplexních opatření v pozemkových úpravách pro snížení škodlivých účinků povrchového odtoku: metodický návod*. Praha: VÚMOP, v.v.i., 2008. ISBN 978-80-904027-7-5.

PODHRÁZSKÁ, Jana a DUFKOVÁ, Jana. *Protierozní ochrana půdy*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005. ISBN 80-7157-856-8.

RAPANT, Petr. *Geoinformatika a geoinformační technologie*. Ostrava: Institut geoinformatiky, VŠB - TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1264-9.

URBAN, Jiří. *Digitální Model Terénu*. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1991.

Internetové zdroje

ČÚZK. Geoportál ČÚZK [Online]. 2010 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z:
<http://geoportal.cuzk.cz/>

CENIA. Národní geoportál INSPIRE [Online]. 2010-2014 [cit. 2014-11]. Dostupné z:
<http://geoportal.gov.cz>.

Krajský úřad Libereckého kraje. Geoportál Libereckého kraje. [online]. 2015 [cit. 2014-11-20]. Dostupné z: <http://maps.kraj-lbc.cz/mapserv/dpp/dokumenty/uzemi.htm>

ESRI. *ArcGIS Help 10.2, 10.2.1, and 10.2.2* [online]. 2014 [cit. 2015-04-01].
Dostupné z: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/>

VÚGTK. Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí [Online]. 2005-2015 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/slovník/>

VÚMOP. *Geoportál SOWAC-GIS* [online]. VÚMOP, v.v.i., 2015 [cit. 2015-02-10].
Dostupné z: <http://geoportal.vumop.cz/index.php>

12. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Příklad zobrazení TIN (polyedrického) modelu (ESRI 2014)	16
Obr. 2 Příklad zobrazení rastrového modelu (Zdroj: vlastní)	17
Obr. 3 Lokalizace řešeného území (Podkladová Data: ČÚZK, Zpracování vlastní) 32	
Obr. 4 Říční síť v povodí (Podkladová Data: DIBAVOD, Zpracování vlastní)	33
Obr. 5 Klimatické oblasti v povodí (Podkladová Data: VÚMOP, Zpracování vlastní)	34
Obr. 6 Přehled geomorfologických okrsků v území (Podkladová Data: CENIA, Zpracování vlastní)	35
Obr. 7 Geologická mapa zájmového území (Podkladová Data: CENIA, Zpracování vlastní)	36
Obr. 8 Mapa půdních typů v území (Podkladová Data: CENIA, Zpracování vlastní)37	
Obr. 9 Využití území CORINE 2012 (Podkladová Data: CENIA, Zpracování vlastní)	38
Obr. 10 Ohroženost vodní erozí (Podkladová Data: VÚMOP, Zpracování vlastní) .	39
Obr. 11 Sklonitost svahů (Zdroj: vlastní)	40
Obr. 12 Expozice svahů ke světovým stranám (Zdroj: vlastní)	40
Obr. 13 Tvorba DMR-V pomocí výškopisu funkcí Topo to raster (Zdroj: vlastní)	42
Obr. 14 Postup tvorby půdních bloků (Zdroj: vlastní).....	43
Obr. 15 Převod K faktoru na rastrový formát (Zdroj: vlastní)	44
Obr. 16 Převod C faktoru na rastrový formát (Zdroj: vlastní)	45
Obr. 17 Pracovní prostředí LS converter (Zdroj: snímek LS converter)	46
Obr. 18 Pracovní prostředí USLE2D (Zdroj: snímek USLE 2D).....	46
Obr. 19 Převod rastru na textový soubor (vlevo), textový soubor LS faktoru na rastr (vpravo). (Zdroj: vlastní).....	47
Obr. 20 Konečný výpočet ztráty půdy (Zdroj: vlastní)	47
Obr. 21 Roční ztráta půdy dle DMR-V vlevo a dle DMR-4G vpravo (zelená nejnižší; červená nejvyšší). (Zdroj: vlastní)	48
Obr. 22 Posouzení limitu přípustné ztráty, hodnocení dle DMR-V vlevo a dle DMR-4G vpravo (zelená nižší než limit; červená vyšší než limit). (Zdroj: vlastní)	49
Obr. 23 Roční ztráta půdy s PEO vlevo dle DMR-V a dle DMR-4G vpravo (zelená nejnižší; červená nejvyšší) (Zdroj: vlastní)	52
Obr. 24 Posouzení limitu přípustné ztráty po návrhu PEO vlevo dle DMR-V, vpravo dle DMR-4G (zelená nižší než limit; červená vyšší než limit). (Zdroj: vlastní)	53
Obr. 25 Půdní blok s dráhami odtoku (Zdroj: vlastní)	53
Obr. 26 Graf srovnání ročních ztrát půdy (Zdroj: vlastní).....	56
Obr. 27 Procentuální zastoupení ztrát půdy vzhledem k celkové ploše (Zdroj: vlastní)	56
Obr. 28 Splnění limitů přípustné ztráty půdy (Zdroj: vlastní).....	57

Obr. 29 Srovnání ztrát půdy na vybrané parcele (Zdroj: vlastní)	58
Tab. 1 Klasifikace oblasti dle Quitta (Hromek et al. 2004)	34
Tab. 2 Přehled vstupních dat (Zdroj tabulka: vlastní)	41
Tab. 3 Přiřazení hodnot buňkám rastru (Zdroj: vlastní)	45
Tab. 4 Návrh osevního postupu (Zdroj: vlastní).....	51
Tab. 5 Tabulka faktorů na půdním bloku (Zdroj: vlastní)	54

13. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Fotodokumentace řešené lokality

Fotografie č. 1 – Pohled na zatravněný svah (foto 08/2014: D.Patócs)

Fotografie č. 2 – Účelová komunikace mezi půdními bloky
(foto 08/2014: D.Patócs)

Fotografie č. 3 – Různé využití půdních bloků (foto 08/2014: D.Patócs)

Fotografie č. 4 – Jižní pohled na území (foto 08/2014: D.Patócs)

Fotografie č. 5 – Patrná členitost území, jihozápadní pohled
(foto 08/2014: D.Patócs)

Fotografie č. 6 – Jeden z mála rovinatých půdních bloků
(foto 08/2014: D.Patócs)

Fotografie č. 7 – Místa se na rovinatých plochách objevovala kukuřice
(foto 08/2014: D.Patócs)

Fotografie č. 8 – Úpatí svahu jednoho z půdních bloků
(foto 08/2014: D.Patócs)

Fotografie č. 9 – Částečně zanešený odvodňovací příkop
(foto 08/2014: D.Patócs)

Příloha č. 2 – Mapa topografického faktoru LS vytvořeného na základě DMR-V

Příloha č. 3 – Mapa topografického faktoru LS vytvořeného na základě DMR-4G

Příloha č. 4 – Mapa ročních ztrát půdy dle DMR-V

Příloha č. 5 – Mapa překročení G přípustné dle DMR-V

Příloha č. 6 – Mapa ročních ztrát půdy dle DMR-4G

Příloha č. 7 – Mapa překročení G přípustné dle DMR-4G

Příloha č. 8 – Mapa ročních ztrát půdy po návrhu PEO dle DMR-V

Příloha č. 9 – Mapa překročení G přípustné po návrhu PEO dle DMR-V

Příloha č. 10 – Mapa ročních ztrát půdy po návrhu PEO dle DMR-4G

Příloha č. 11 – Mapa překročení G přípustné po návrhu PEO dle DMR-4G

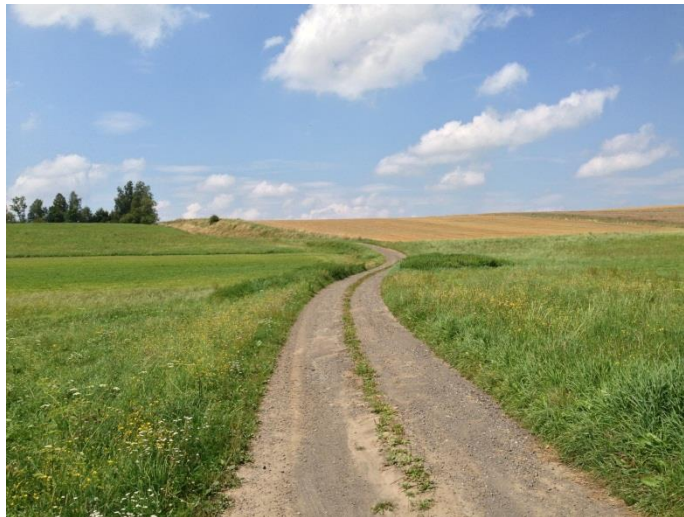
Příloha č. 12 – Návrh protierozních opatření

Příloha č. 13 – Tabulka vybraných charakteristik HPJ zastoupených v území dle
vyhlášky č. 327/1998 Sb.

Příloha č. 1 – Fotodokumentace řešené lokality



Fotografie č. 1 – Pohled na zatravněný svah (foto 08/2014: D.Patócs)



Fotografie č. 2 – Účelová komunikace mezi půdními bloky (foto 08/2014: D.Patócs)



Fotografie č. 3 – Různé využití půdních bloků (foto 08/2014: D.Patócs)



Fotografie č. 4 – Jižní pohled na území (foto 08/2014: D.Patócs)



Fotografie č. 5 – Patrná členitost území, jihozápadní pohled (foto 08/2014: D.Patócs)



Fotografie č. 6 – Jeden z mála rovinatých půdních bloků (foto 08/2014: D.Patócs)



Fotografie č. 7 – Místy se na rovinatých plochách objevovala kukuřice (foto 08/2014: D.Patócs)

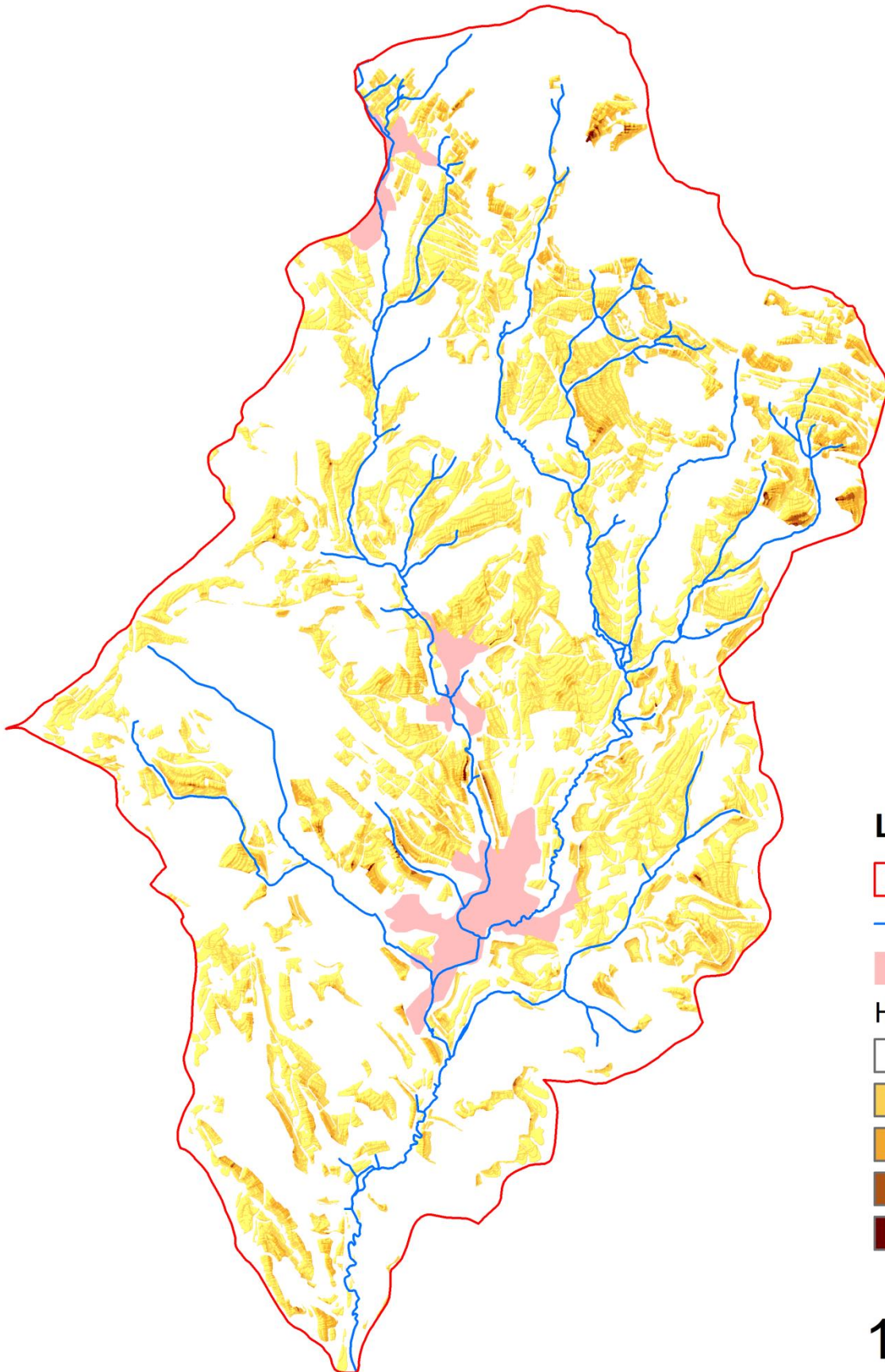


Fotografie č. 8 – Úpatí svahu jednoho z půdních bloků (foto 08/2014: D.Patócs)



Fotografie č. 9 – Částečně zanešený odvodňovací příkop (foto 08/2014: D.Patócs)


Topografický faktor LS (V)



Legenda

 Hranice povodí

 Vodní toky

 Zástavba

Hodnoty LS faktoru

 0

 0-10

 10-30

 30-50

 50-65

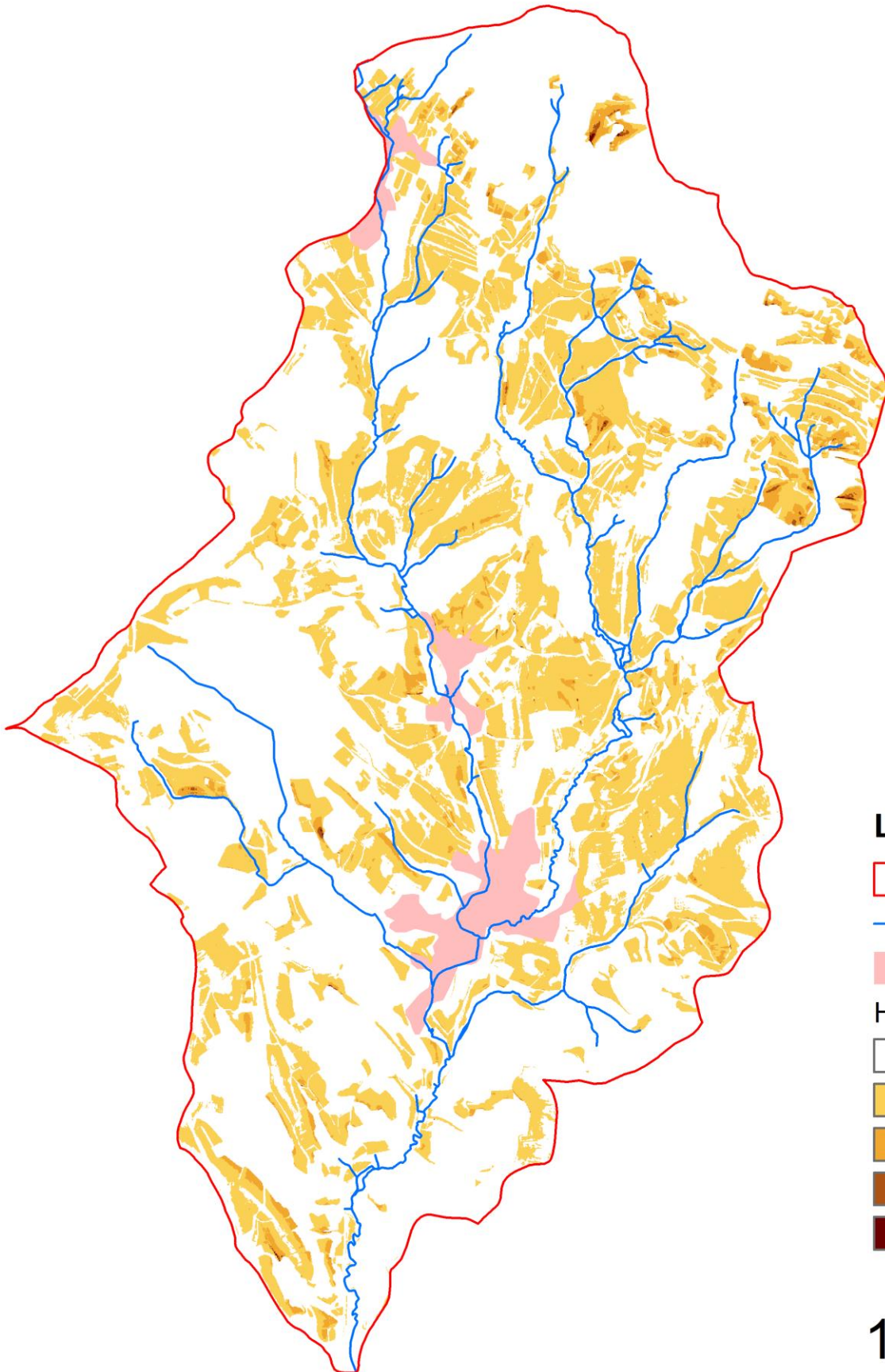
1:50 000

Autor: David Patócs

Název: LS faktor (V)

Rok: 2015


Topografický faktor LS (4G)



Legenda

 Hranice povodí

 Vodní toky

 Zástavba

Hodnoty LS faktoru

 0

 0-10

 10-30

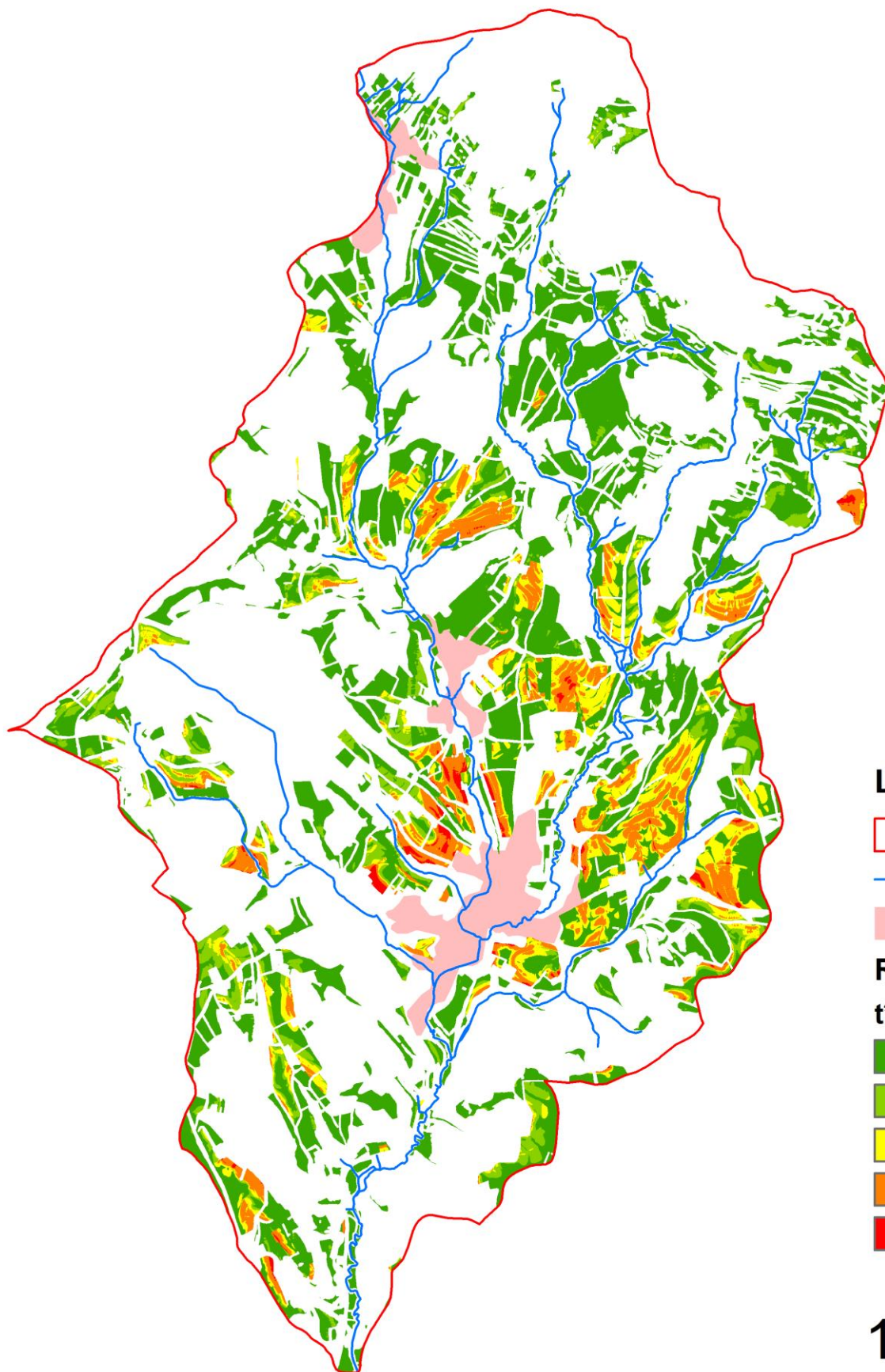
 30-50

 50-65


1:50 000

Autor: David Patócs
Název: LS faktor (4G)
Rok: 2015

Roční ztráta půdy současný stav (V)








Legenda

-  Hranice povodí
-  Vodní toky
-  Zástavba

Roční ztráta půdy

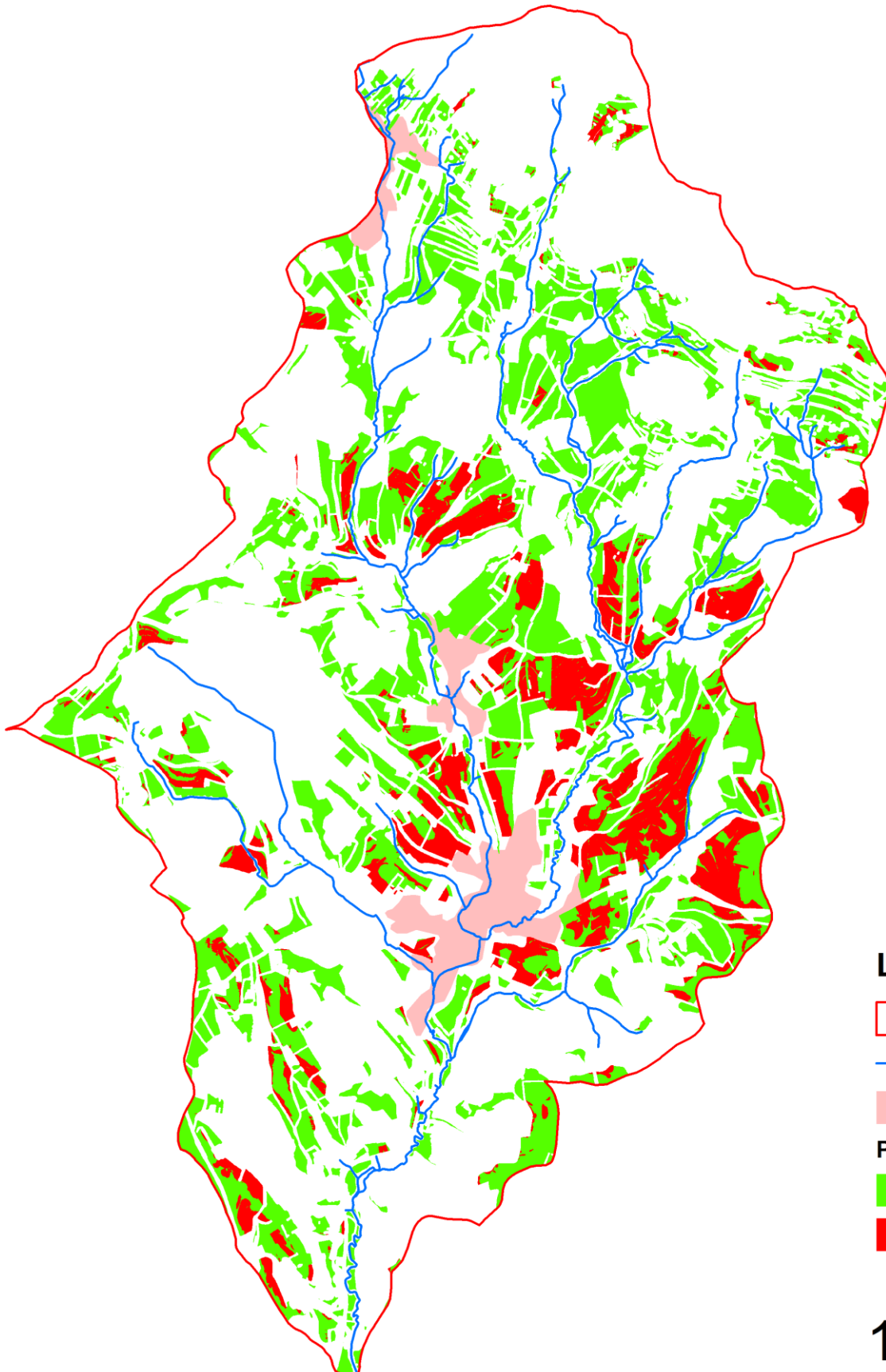
t*ha⁻¹*rok

-  0-1
-  1-4
-  4-10
-  10-50
-  50-360


1:50 000

Autor: David Patócs
Název: DP G (V)
Rok: 2015


Překročení limitu roční ztráty (V) současný stav




Legenda


 Hranice povodí

 Vodní toky

 Zástavba

Překročení přípustné G

 Nepřekročeno

 Překročeno

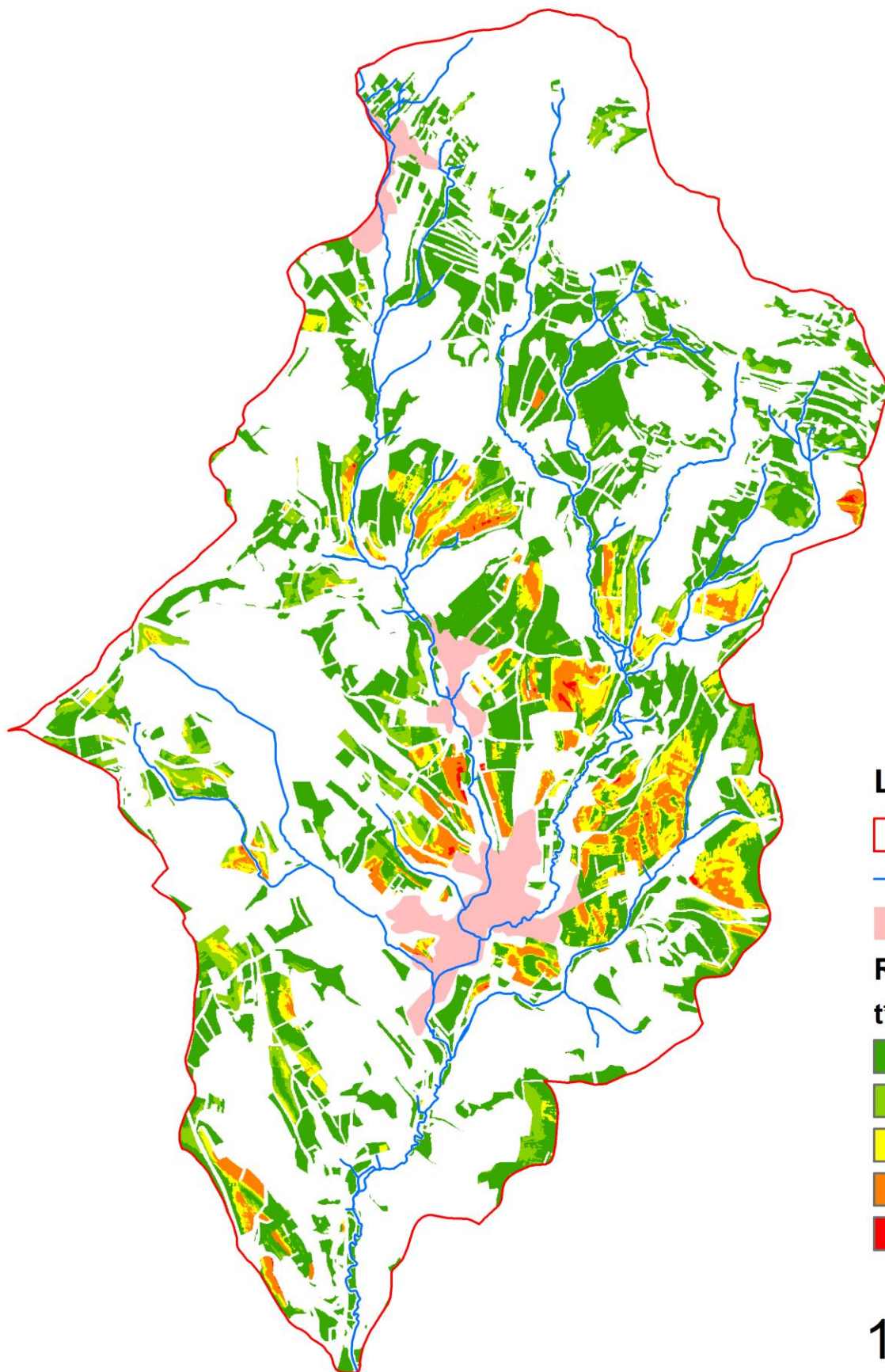
1:50 000

Autor: David Patócs



Název: DP G přp (V)

Rok: 2015

Roční ztráta půdy současný stav (4G)








Legenda

-  Hranice povodí
-  Vodní toky
-  Zástavba

Roční ztráta půdy

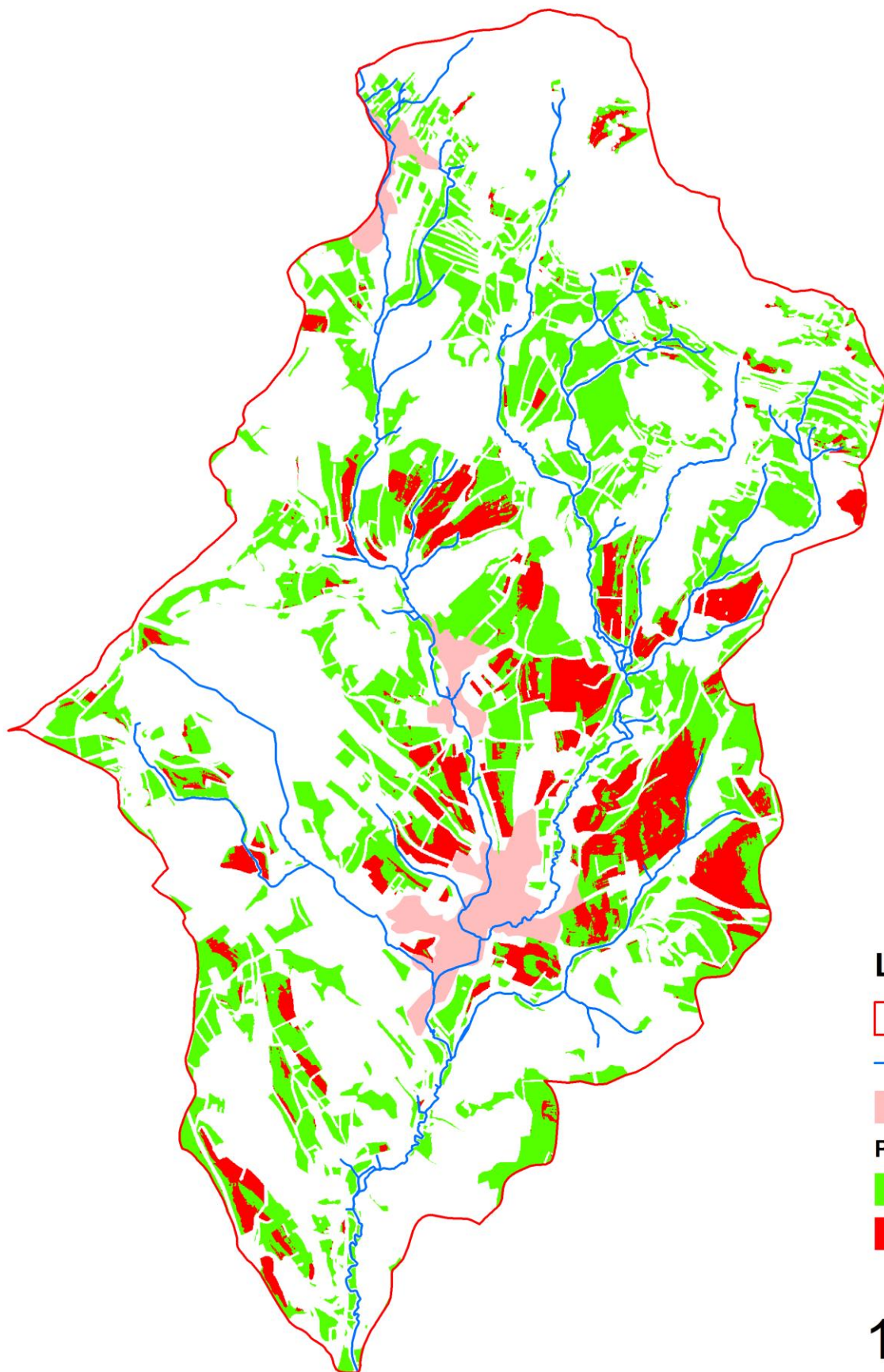
t*ha⁻¹*rok

-  0-1
-  1-4
-  4-10
-  10-50
-  50-320


1:50 000

Autor: David Patócs
Název: DP G (4G)
Rok: 2015

Překročení limitu roční ztráty (4G) současný stav



Legenda

 Hranice povodí

 Vodní toky

 Zástavba

Překročení přípustné G

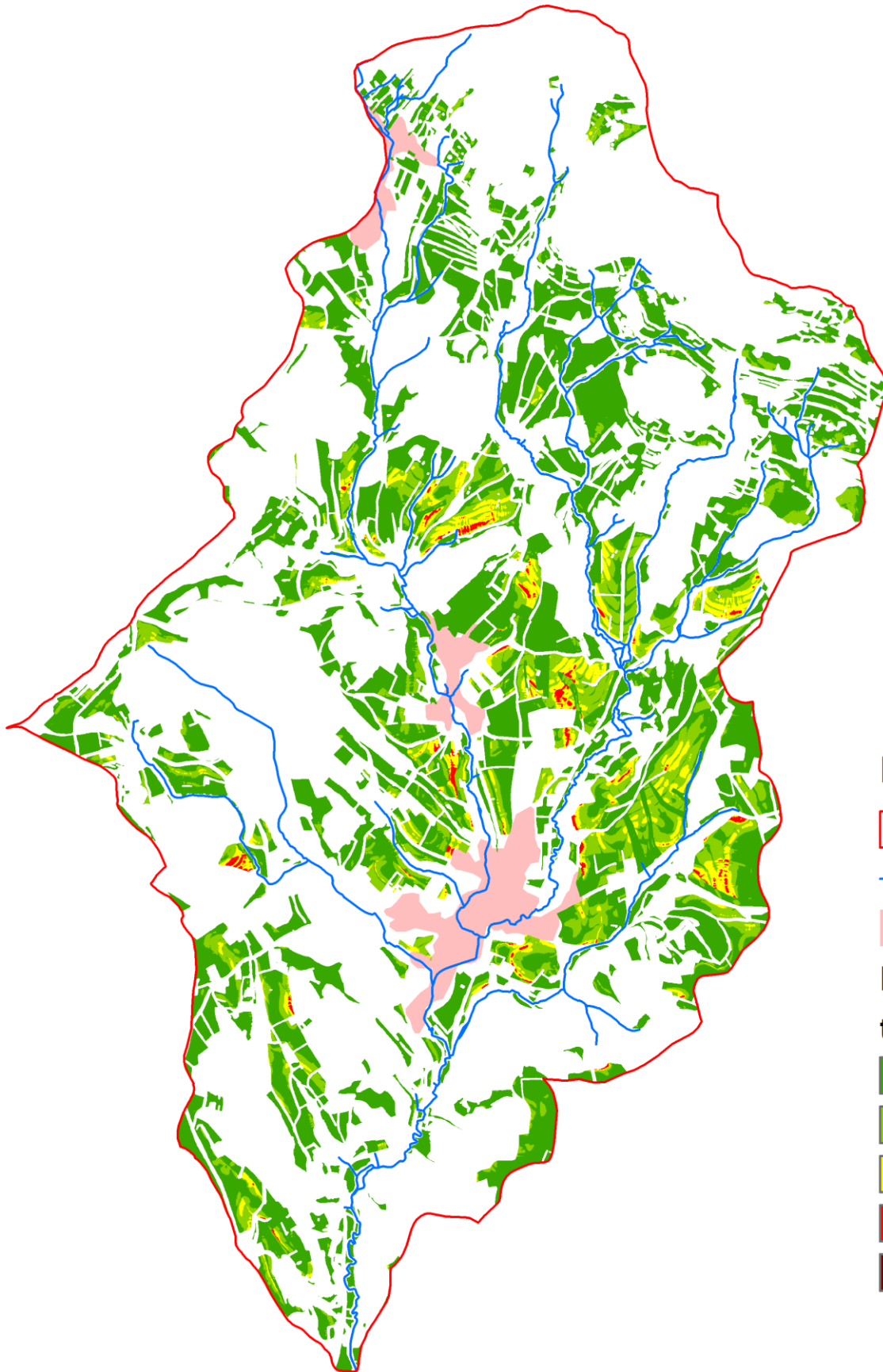
 Nepřekročeno

 Překročeno




1:50 000

Autor: David Patócs
Název: DP G přp (4G)
Rok: 2015

Roční ztráta půdy po návrhu PEO (V)








Legenda

-  Hranice povodí
-  Vodní toky
-  Zástavba

Roční ztráta půdy

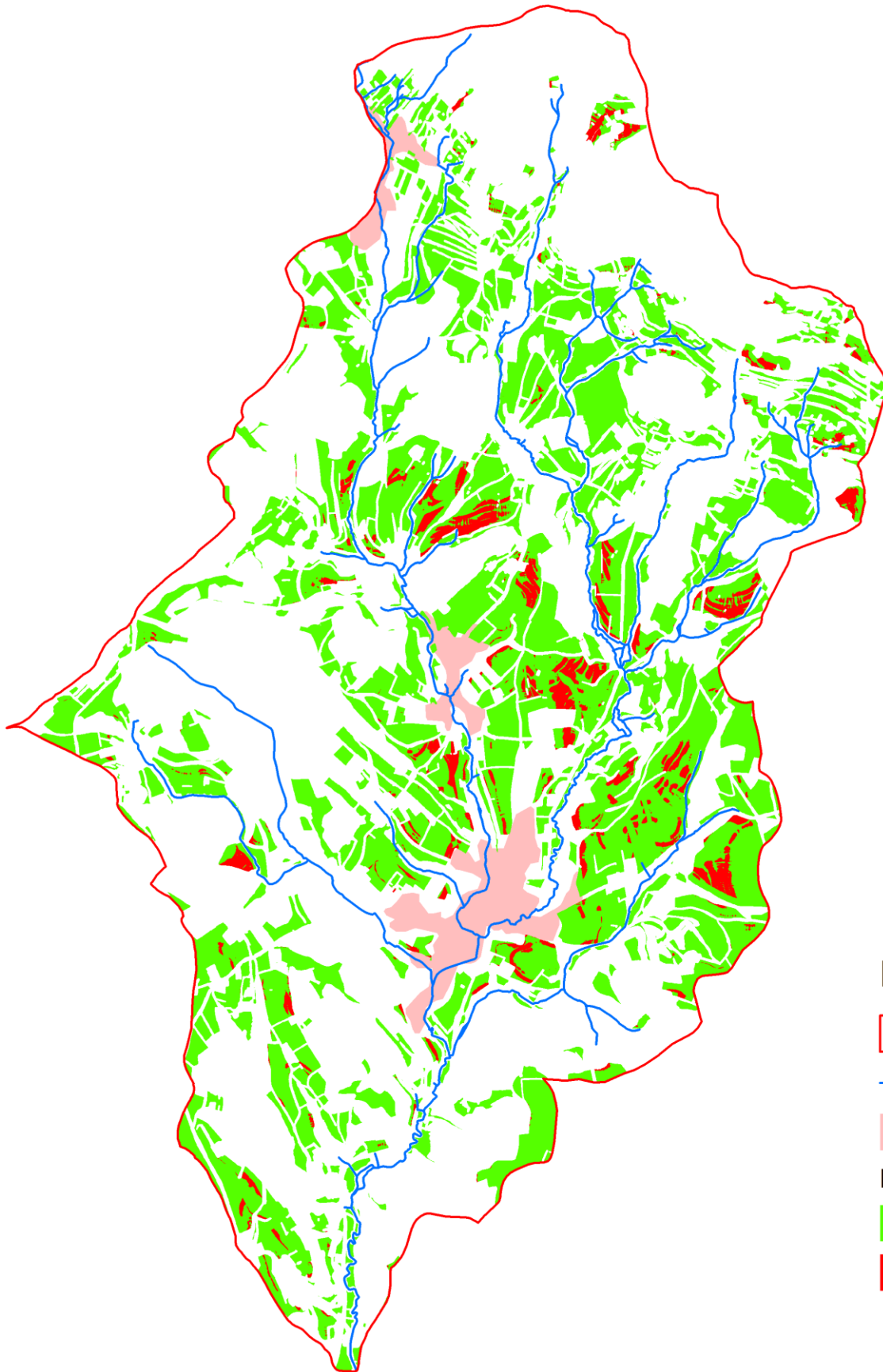
t*ha-1*rok

-  0-1
-  1-4
-  4-10
-  10-50
-  50-85

1:50 000

Autor: David Patócs
Název: DP G PEO (V)
Rok: 2015


Překročení limitu roční ztráty PEO (V)




Legenda


 Hranice povodí

 Vodní toky

 Zástavba

Překročení přípustné G

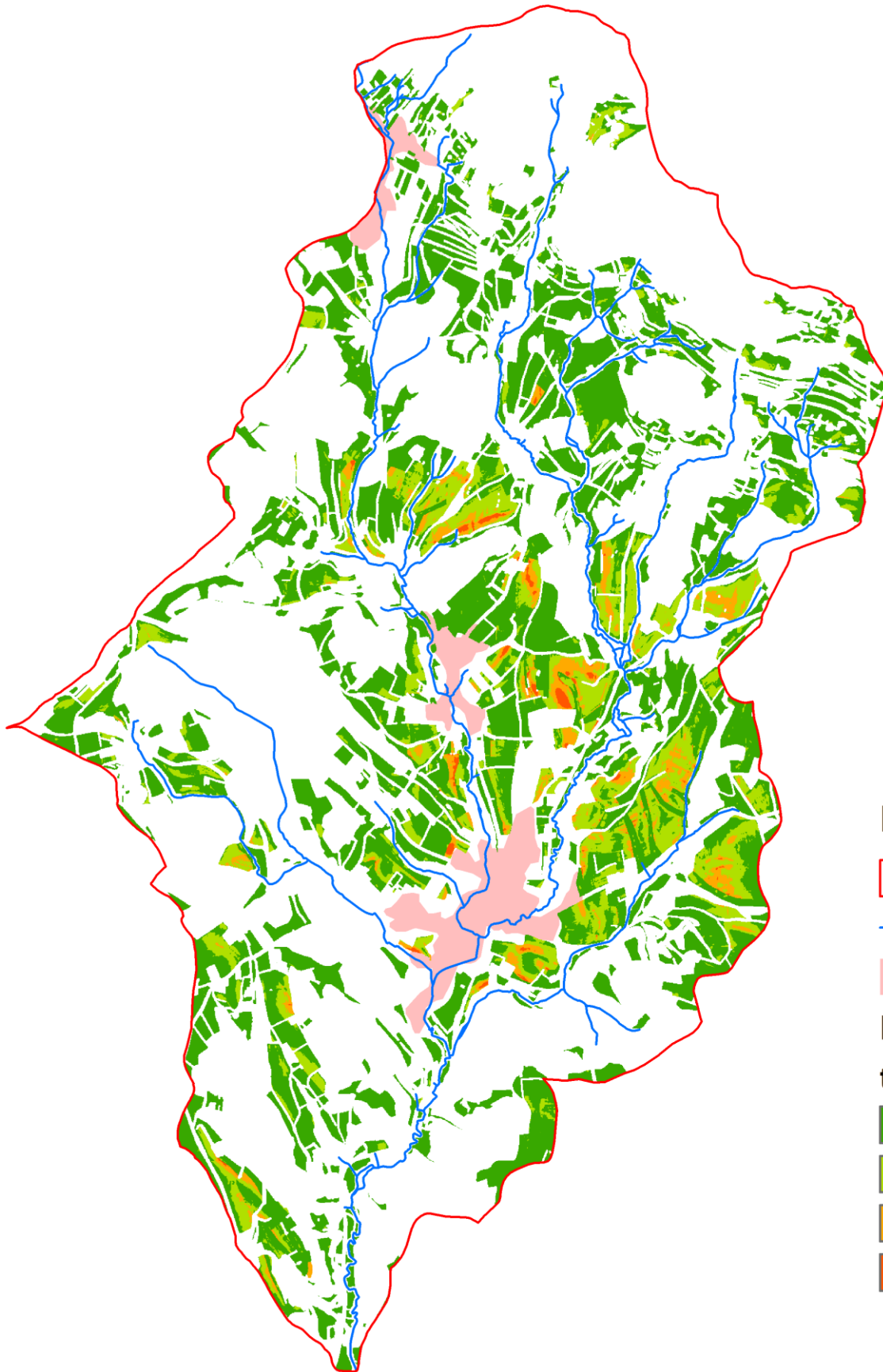
 Nepřekročeno

 Překročeno




1:50 000

Autor: David Patócs
Název: DP G přp PEO (V)
Rok: 2015

Roční ztráta půdy po návrhu PEO (4G)







Legenda

-  Hranice povodí
-  Vodní toky
-  Zástavba

Roční ztráta půdy

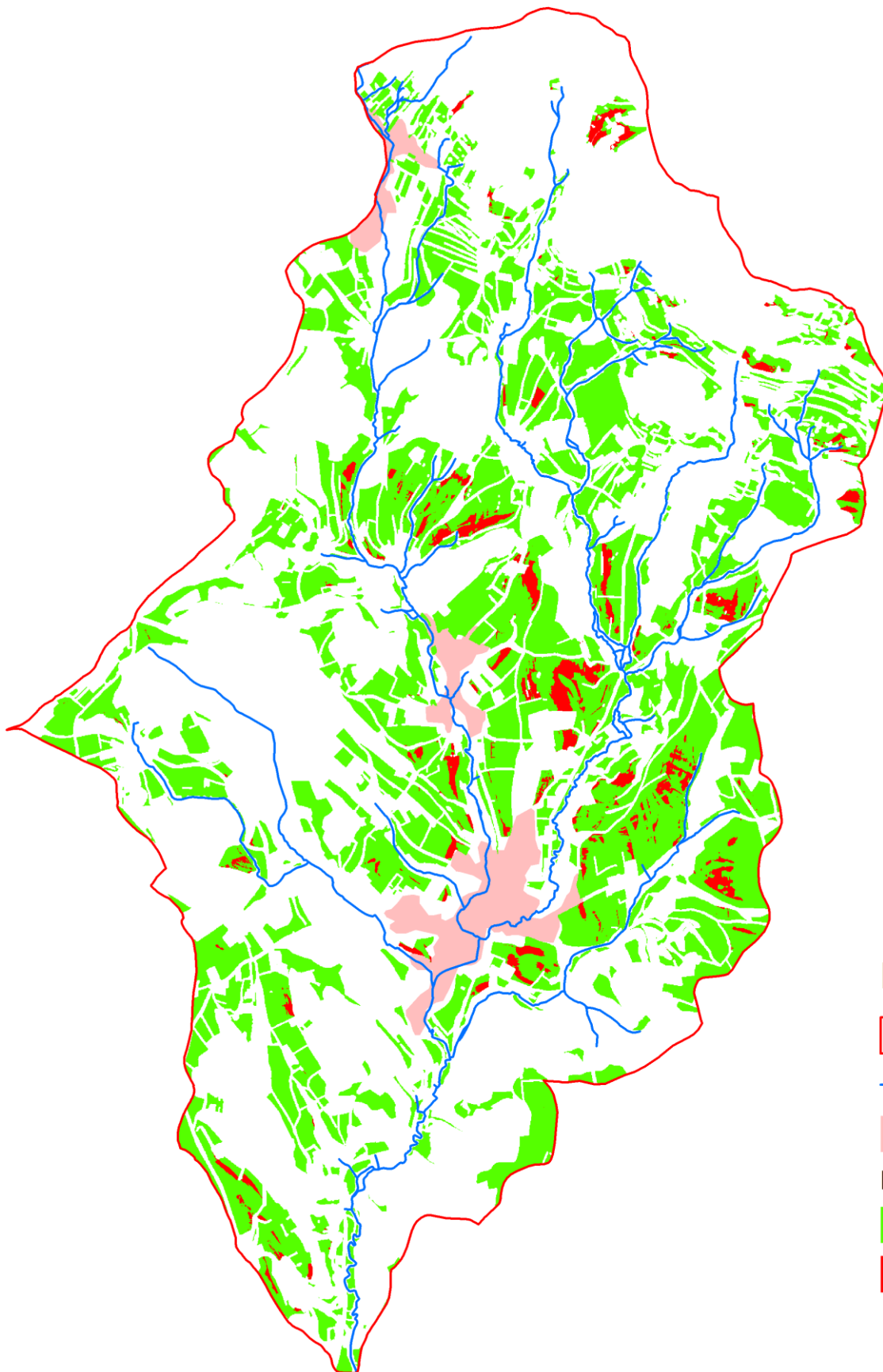
t*ha⁻¹*rok

-  0-1
-  1-4
-  4-10
-  10-50

1:50 000

Autor: David Patócs
Název: DP G PEO (4G)
Rok: 2015


Překročení limitu roční ztráty PEO (4G)




Legenda


 Hranice povodí

 Vodní toky

 Zástavba

Překročení přípustné G

 Nepřekročeno

 Překročeno

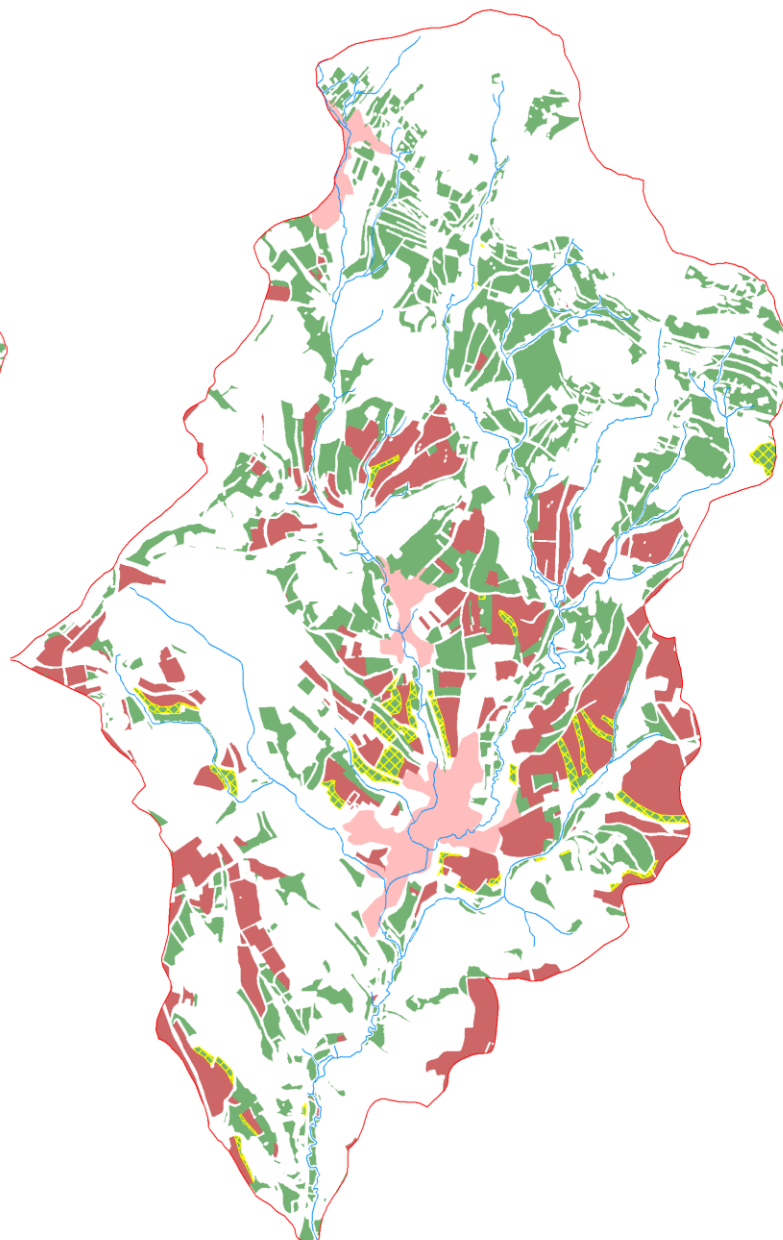
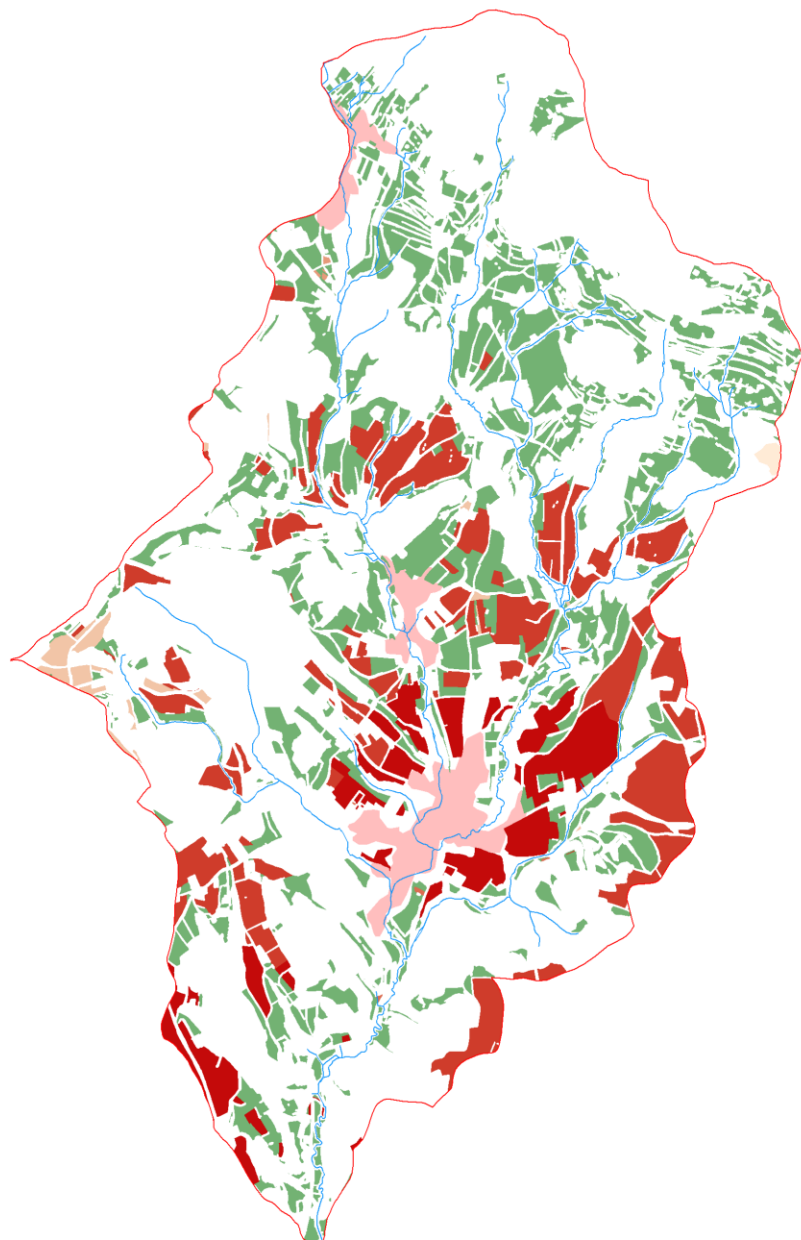
1:50 000

Autor: David Patócs
Název: DP G přp PEO (4G)
Rok: 2015




Způsob využití pozemků a návrh protierozních opatření

Využití současný stav

Využití návrh PEO



Legenda

-  Hranice povodí
-  Vodní toky
-  Zástavba

Využití pozemků současný stav

TTP

C faktor

 0,005

Orná půda

C faktor

 0,135

 0,156

 0,192

 0,199

 0,204

 0,229

Využití pozemků návrh PEO

TTP

C faktor

 0,005

Orná půda

C faktor

 0,07

Návrh TTP



1:70 000

Autor: David Patócs
Název: Návrh PEO
Rok: 2015

HPJ	Popis
08	Černozemě modální a černozemě pelické, hnědozemě, luvizemě, popřípadě i kambizemě luvické, smyté, kde dochází ke kultivaci přechodného horizontu nebo substrátu na ploše větší než 50 %, na spraších, sprašových a svahových hlínách, středně těžké i těžší, převážně bez skeletu a ve vyšší sklonitosti
11	Hnědozemě modální včetně slabě oglejených na sprašových a soliflukčních hlínách (prachovicích), středně těžké s těžší spodinou, bez skeletu, s příznivými vlhkostními poměry
13	Hnědozemě modální, hnědozemě luvické, luvizemě modální, fluvizemě modální i stratifikované, na eolických substrátech, popřípadě i svahovinách (polygenetických hlínách) s mocností maximálně 50 cm uložených na velmi propustném substrátu, bezskeletovité až středně skeletovité, závislé na dešťových srážkách ve vegetačním období
14	Luvizemě modální, hnědozemě luvické včetně slabě oglejených na sprašových hlínách (prachovicích) nebo svahových (polygenetických) hlínách s výraznou eolickou příměsí, středně těžké s těžkou spodinou, s příznivými vláhovými poměry
15	Luvizemě modální a hnědozemě luvické, včetně oglejených variet na svahových hlínách s eolickou příměsí, středně těžké až těžké, až středně skeletovité, vláhově příznivé pouze s krátkodobým převlhčením
29	Kambizemě modální eubazické až mezobazické včetně slabě oglejených variet, na rulách, svorech, fylitech, popřípadě žulách, středně těžké až středně těžké lehčí, bez skeletu až středně skeletovité, s převažujícími dobrými vláhovými poměry
30	Kambizemě eubazické až mezobazické na svahovinách sedimentárních hornin - pískovce, permokarbon, flyš, středně těžké lehčí, až středně skeletovité, vláhově příznivé až sušší
31	Kambizemě modální až arenické, eubazické až mezobazické na sedimentárních, minerálně chudých substrátech - pískovce, křídové opuky, permokarbon, vždy však lehké, bez skeletu až středně skeletovité, málo vododržné, výsušné
34	Kambizemě dystrické, kambizemě modální mezobazické i kryptopodzoly modální na žulách, rulách, svorech a fylitech, středně těžké lehčí až středně skeletovité, vláhově zásobené, vždy však v mírně chladném klimatickém regionu
35	Kambizemě dystrické, kambizemě modální mezobazické, kryptopodzoly modální včetně slabě oglejených variet, na břidlicích, permokarbonu, flyši, neutrálních vyvěřelých horninách a jejich svahovinách, středně těžké, až středně skeletovité, vláhově příznivé až mírně převlhčené, v mírně chladném klimatickém regionu
36	Kryptopodzoly modální, podzoly modální, kambizemě dystrické, případně i kambizemě modální mezobazická, bez rozlišení matečných hornin, převážně středně těžké lehčí, s různouskeletovitostí, půdy až mírně převlhčované, vždy však v chladném klimatickém regionu
40	Půdy se sklonitostí vyšší než 12 stupňů, kambizemě, rendziny, pararendziny, rankery, regozemě, černozemě, hnědozemě a další, zrnitostně středně těžké lehčí až lehké, s různou skeletovitostí, vláhově závislé na klimatu a expozici
41	Půdy jako u HPJ 40 avšak zrnitostně středně těžké až velmi těžké s poněkud příznivějšími vláhovými poměry
44	Pseudogleje modální, pseudogleje luvické, na sprašových hlínách (prachovicích), středně těžké, těžší ve spodině, bez skeletu nebo s příměsí, se sklonem k dočasnému zamokření
47	Pseudogleje modální, pseudogleje luvické, kambizemě oglejené na svahových (polygenetických) hlínách, středně těžké, ve spodině těžší až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření
50	Kambizemě oglejené a pseudogleje modální na žulách, rulách a jiných pevných horninách (které nejsou v HPJ 48,49), středně těžké lehčí až středně těžké, slabě až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření
52	Pseudogleje modální, kambizemě oglejené na lehčích sedimentech limnického terciéru (sladkovodní svrchnokřídové a tercierní uloženiny), často s příměsí eolického materiálu, zpravidla jen slabě skeletovité, zrnitostně středně těžké lehčí až lehké, se sklonem k dočasnému převlhčení
58	Fluvizemě glejové na nivních uloženinách, popřípadě s podložím teras, středně těžké nebo středně těžké lehčí, pouze slabě skeletovité, hladina vody níže 1 m, vláhové poměry po odvodnění příznivé
68	Gleje modální i modální zrašelinělé, gleje histické, černice glejové zrašelinělé na nivních uloženinách v okolí menších vodních toků, půdy úzkých depresí včetně svahů, obtížně vymežitelné, středně těžké až velmi těžké, nepříznivý vodní režim
73	Kambizemě oglejené, pseudogleje glejové i hydroeluviální, gleje hydroeluviální i povrchové, nacházející se ve svahových polohách, zpravidla zamokřené s výskytem svahových pramenišť, středně těžké až velmi těžké, až středně skeletovité
74	Pseudogleje glejové i hydroeluviální, gleje povrchové zrašelinělé i gleje povrchové histické, gleje akvické, stagogleje modální, půdy středně těžké až velmi těžké, až středně skeletovité nacházející se ve svahových polohách, zamokřené se svahovými prameny, často zrašelinělé
78	Hluboké strže přesahující 3 m, s nemapovatelným zastoupením hydromorfních půd - glejů, pseudo-glejů a koluvizemí všech subtypů s výrazně nepříznivými vlhkostními poměry, pro zemědělství nevhodné.

Příloha č. 13 – Tabulka vybraných charakteristik HPJ zastoupených v území dle vyhlášky č. 327/1998 Sb.