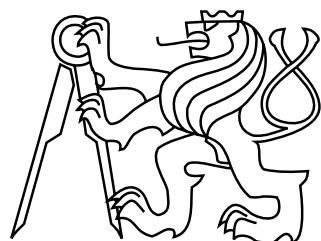


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
ZÁSUVNÝ MODUL QGIS
PRO VÝPOČET EROZNÍHO SMYVU NA ORNÉ PŮDĚ

Vedoucí práce: Ing. Martin Landa, Ph.D.
Katedra geomatiky

červen 2017

Radek NOVOTNÝ



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Novotný Jméno: Radek Osobní číslo: 439264
Zadávající katedra: Katedra geomatiky
Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Zásuvný modul QGIS pro výpočet erozního smyvu na orné půdě

Název bakalářské práce anglicky: Soil Loss on Arable Land QGIS Plugin

Pokyny pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je návrh softwarového nástroje pro výpočet a prezentaci erozního smyvu na orné půdě, který je podkladem pro agrotechnická a organizační opatření při projektování komplexních pozemkových úprav, případně opatření proti nežádoucím vlivům odtokových poměrů. Výstupem aplikace je rastrový soubor prezentující hodnotu erozního smyvu v tunách na hektar za rok (t/ha.rok) pomocí barevné škály v zájmovém území a souhrnná tabulka obsahující výsledné hodnoty erozně hodnocených ploch.

Jako platforma pro vývoj nástroje bude použit programovací jazyk Python, grafický framework PyQt, open source desktopový program QGIS a jeho API (rozhraní pro programování aplikací). Nástroj bude implementován ve formě tzv. zásuvného modulu pod licencí GNU GPL.

Seznam doporučené literatury:

Kurt Menke, G.: Mastering QGIS, Packt Publishing, 2015, ISBN: 9781784390068

Pilgrim, M.: Dive Into Python, Createspace Independent Pub 2009, ISBN: 9781441413024

Summerfield, M.: Rapid GUI Programming With Python and Qt, Prentice Hall, 2015, ISBN: 9780134393339

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Martin Landa, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je návrh softwarového nástroje pro výpočet a prezentaci erozního smyvu na orné půdě, který je podkladem pro agrotechnická a organizační opatření při projektování komplexních pozemkových úprav, případně opatření proti nežádoucím vlivům odtokových poměrů. Výstupem aplikace je rasterový soubor prezentující hodnotu erozního smyvu v tunách na hektar za rok pomocí barevné škály v zájmovém území a atributová tabulka obsahující výsledné hodnoty erozně hodnocených ploch. Jako platforma pro vývoj nástroje je použit programovací jazyk Python, grafický framework PyQt, open source desktopový program QGIS a jeho API (rozhraní pro programovaní aplikací). Nástroj je implementován ve formě tzv. zásuvného modulu pod licencí GNU/GPL.

KLÍČOVÁ SLOVA

GIS, QGIS, GRASS, zásuvný modul, python, půdní eroze, USLE

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is the implementation of a software tool enabling computation and presentation od soil loss on arable land, which is base for agrotechnical and organizational measures during design of complex landscaping, eventually measures against unwanted effects of runoff conditions. Application output is raster file presenting value of soil loss in tonnes per hectare per year using a color scale in the area of interest and attribute table contains results of erosively rated areas. As a platform for tool development is used programming language Python, graphical framework PyQt, open source desktop program QGIS and its API (Application Programming Interface). Tool is implemented in the form of so called plugin under license GNU/GPL.

KEYWORDS

GIS, QGIS, GRASS, plugin, python, soil erosion, USLE

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma „Zásuvný modul QGIS pro výpočet erozního smyvu na orné půdě“ jsem vypracoval samostatně. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce, Ing. Martinu Landovi, PhD., za pozitivní vřelý přístup, nedocenitelné rady a motivaci k práci. Samozřejmě děkuji za podporu mé skvělé rodině, milující přítelkyni a přátelům ze spolku.

Obsah

1	Úvod	12
2	Teoretický základ	14
2.1	Eroze	14
2.1.1	Co je eroze?	14
2.1.2	Rozdělení eroze	14
2.1.3	Protierozní opatření	16
2.2	Historie	19
2.2.1	Počátky výzkumu eroze	19
2.2.2	Vývoj USLE	20
2.2.3	Modifikace USLE	23
2.2.4	Současný stav	24
2.3	Univerzální rovnice ztráty půdy	25
2.3.1	Faktor erozní účinnosti přívalového deště (R)	25
2.3.2	Faktor struktury půdy (K)	26
2.3.3	Topografický faktor (LS)	28
2.3.4	Faktor ochranného vlivu vegetace (C)	30
2.3.5	Faktor protierozních opatření (P)	31
2.3.6	Přípustná průměrná dlouhodobá ztráta půdy (G_P)	32
3	Podklady	33
3.1	BPEJ	33
3.2	LPIS	34
3.3	DMT	35
3.3.1	DMR 4G	35
3.3.2	DMR 5G	35
4	Technologie	36
4.1	QGIS	36
4.2	GRASS GIS	37
4.3	Python	39
4.4	PyCharm	39

4.5	GitHub	40
4.6	Qt	41
5	Praktická část	42
5.1	Vývoj	42
5.1.1	Kostra	42
5.1.2	Grafické uživatelské rozhraní	42
5.1.3	Zdrojový kód	43
5.1.4	Lokalizace	43
5.2	Popis struktury kódu	43
5.2.1	Knihovna pyerosion	43
5.2.2	Tělo zásuvného modulu	44
5.2.3	Schéma výpočtu	45
5.2.4	Popis výpočtu v GRASS GIS a použitých modulů	46
5.2.5	Popis hlavních metod výpočtu v QGIS	47
5.3	Testovací data	49
6	Závěr	50
6.1	Licenční podmínky	50
Seznam zkratek		51
Literatura		52
A	Uživatelský manuál	56
A.1	O pluginu Soil Erosion	56
A.2	Instalace	56
A.2.1	Přidání repositáře <i>CTU GeoForAll Lab</i>	56
A.2.2	Instalace zásuvného modulu <i>Soil Erosion</i>	58
A.3	Návod k použití	59
A.3.1	EUC	59
A.3.2	L,S	60
A.3.3	K	60
A.3.4	C	61
A.3.5	R,P	61

A.3.6	Výpočet erozního modelu	62
A.3.7	Erozní model	62
A.4	Ukázkový výpočet	63
A.4.1	Vzorová data	63
A.4.2	Nastavení vstupů a výpočet	64
A.4.3	Výsledný model	65

Seznam obrázků

2.1	Ilustrační obrázek eroze	14
2.2	Ilustrace technického protierozního opatření	16
2.3	Foto bouře v oblasti Dust Bowl z roku 1935	19
2.4	Foto jednotkových pozemků v Missouri v 50. letech	20
2.5	Foto jednotkových pozemků v Indianě (1968)	22
2.6	Ukázka z výpočtu v GIS aplikaci Eroze pro Atlas DMT	24
2.7	Regionalizované rozdělení faktoru R	26
2.8	Nomogram pro stanovení K faktoru	28
2.9	Rozdělení faktoru R během vegetačního období	30
3.1	Struktura kódu BPEJ	33
3.2	Ukázka GIS online aplikace Registr půd	34
3.3	Ukázka Digitálního modelu reliéfu	35
4.1	Náhled prostředí QGIS 2.18	36
4.2	Náhled prostředí GRASS GIS 7.2.0	37
4.3	Náhled vývojového prostředí PyCharm	39
4.4	Náhled verzovacího prostředí GitHub	40
4.5	Náhled prostředí Qt Designer	41
5.1	Diagram výpočtu	45
A.1	Otevření okna <i>Zásuvné moduly</i>	56
A.2	Aktivování experimentálních zásuvných modulů a přidání repositáře.	57
A.3	Přidání repositáře GeoForAll Lab	57
A.4	Instalace zásuvného modulu	58
A.5	Ikona zásuvného modulu v panelu nástrojů	58
A.6	Ikona zásuvného modulu v menu	58
A.7	Záložka EUC	59
A.8	Zobrazení EUC se zahrnutými překážkami	60
A.9	Záložka L,S	60
A.10	Záložka K	61
A.11	Záložka C	61
A.12	Záložka RP	62
A.13	Informačního panel	62

A.14 Vrstva DMT_sample	63
A.15 Vrstva BPEJ_sample	63
A.16 Vrstva LPIS_sample	63
A.17 Vrstva BPEJ_sample po výpočtu K faktoru	64
A.18 Vrstva LPIS po výpočtu C faktoru	64
A.19 Vrstva EUC	65
A.20 Vrstva G faktor	65

Seznam tabulek

2.1	Hodnoty K faktoru pro jednotlivé HPJ	27
2.2	Hodnoty C faktoru pro jednotlivé osevní postupy	31
2.3	Rozdělení potenciální ohroženosti půdy	32
3.1	Rozdělení kultur na zemědělské půdě dle LPIS	34

1 Úvod

Ačkoliv na první pohled se eroze v našich podmírkách nemusí zdát jako vážný problém a v měřítku eroze k níž dochází například v rozvojových zemích Afriky by se mohla zdát až zanedbatelná, je tomu právě naopak. V České republice je v současnosti erozně ohrožena více než polovina[9] zemědělské orné půdy, z které tímto procesem nenávratně mizí nejúrodnější vrstva – ornice, jež vznikala po stovky let.

Tento stav nastal v ČR důsledkem postupných změn v zemědělském hospodaření. První zásadní změnou byla kolektivizace zemědělství a s ní související zcelování polních jednotek, přičemž docházelo k odstraňování mezí a remízků, jež tvořily přirozenou protierozní ochranu. Bohužel ani po navrácení pozemků do soukromého vlastnictví nedošlo k očekávanému rozdělení velkých polních jednotek a obnovení přirozené protierozní ochrany.

Druhá změna značně ovlivňující erozi nastala v devadesátých letech, kdy ubývala živočišná výroba a s ní i plodiny pro ni pěstované – vojtěška a jeteloviny, které mají na půdu velmi dobrý protierozní vliv. Ty byly díky štědré dotační politice nahrazeny plodinami sloužícími zejména pro výrobu biopaliv – řepkou a kukuricí, jejichž protierozní charakter je naopak nevalný.

V posledních letech poutají projevující se důsledky těchto změn k problematice eroze větší pozornost, se kterou přichází i zvýšená snaha problém řešit. Příkladem může být Redesign erozní ohroženosti půdy v LPIS (č. j.: 43526/2016-MZE) schválený v loňském roce na Ministerstvu zemědělství. Tento materiál postupně snižuje hodnoty přípustné ztráty půdy erozí (Gp), důsledkem čehož by mělo být v roce 2030 chráněno až 60% orné půdy.[39]

Pro návrh protierozních opatření je nutné určení ohrožených pozemků, které probíhá stanovením průměrné ztráty půdy (G) a následným porovnáním se zmíněnou přípustnou hodnotou (Gp). K tomuto určení se v ČR využívá rovnice USLE, která je po rozvoji GIS v posledních letech softwarově implementována. Nejpoužívanějším nástrojem je v současnosti aplikace Atlas EROZE, která nabízí kompletní výpočet se zahrnutím všech faktorů ovlivňujících erozi.

Tato aplikace ovšem není volně dostupná a uživatel využívající open source nástroje je odkázán na vlastní ruční řešení, např. v softwaru GRASS GIS, který nástroje pro dané kroky výpočtu obsahuje.

Cílem této práce je tedy vytvoření open source nástroje, který výpočet erozní ohroženosti provede automaticky, přičemž od uživatele se očekává pouze zadání vstupních dat.

2 Teoretický základ

2.1 Eroze

2.1.1 Co je eroze?



Obrázek 2.1: Ilustrační obrázek eroze
zdroj: Wikimedia Commons[45]

Eroze, z latinského „erodere“ – rozhlodávat, je přirozeným přírodním procesem, během kterého dochází mechanickým působením vnějších faktorů – vody, větru a sněhu k rozrušování půdního povrchu, transportu půdních částic a jejich ukládání na novém místě (sedimentaci).[7]

Vliv přirozené neboli geologické eroze není problémem, a naopak je jedním ze základních procesů tvorby krajiny po miliony let. Dochází při ní k uvolňování biogenních prvků (např. fosfor, draslík, síra), jež jsou nezbytné pro život všech organismů a jinak by zůstaly navázány v horninách. Rychlosť geologické eroze je srovnatelná s rychlosťí, kterou je přirozenými procesy vytvářena půda nová.[7]

Vlivem antropogenních jevů bohužel nastává tzv. zrychlená půdní eroze, která má negativní vliv jak na kvalitu půd (zúžení půdního profilu, snížení obsahu živin, zvýšení štěrkovitosti), jelikož při ní dochází k odstraňování nejúrodnější složky půdy – ornice, tak na plodiny na ní pěstované (mechanické poškození, ztráty osiva a hnojiv). Díky tomu může na silně erodovaných pozemcích docházet ke ztrátám až 3/4 z hektarového výnosu. Následná sedimentace půdních částic zanáší vodní toků, nádrže a při zvýšeném povodňovém průtoku může způsobovat rozsáhlé škody v intravilánech obcí.[18]

2.1.2 Rozdělení eroze

Kromě rozdělení eroze dle intenzity na přirozenou a zrychlenou, je možné erozi dělit podle činitele, jenž jí způsobuje na erozi vodní, větrnou a sněhovou.[7]

Vodní eroze

Při vodní (akvatické) erozi dochází k rozrušování zemského povrchu dopadem vodních kapek, nejsilněji při letních přívalových deštích, kdy se dopadající voda nestihne vsáknout do půdy a následný povrchový odtok způsobuje další vymílání a transport půdních částic. Vodní eroze je v České republice nejčastější a je jí ohroženo více než 50 % veškeré orné půdy. Je ovlivněna především sklonem pozemku, délkom pozemku po spádnici, vegetačním pokryvem a strukturou půdy.

Vodní erozi můžeme dále dělit dle formy odtoku. Jako první probíhá při dešti plošná eroze (plošný splach), ta je charakteristická rozrušováním a smyvem půdní hmoty z celého území. Jejím prvním stupněm je eroze selektivní, při níž jsou povrchovým odtokem odnášeny jemné půdní částice, na které jsou vázány chemické látky. Tím je způsobena větší hrubozrnnost a snížení obsahu živin v půdě zasažené erozí. Naopak půda obohacená smyvem je jemnozrnnější a bohatší na živiny. Druhý stupeň plošné eroze probíhá při větší kinetické energii povrchově stékající vody a střídání málo odolných a odolných vrstev, odtud také název – eroze vrstevná. Projevuje se po celé ploše svahu a odnáší celé, málo odolné vrstvy ornice.

Druhou formou odtoku je výmolová eroze, vznikající postupným soustředováním vody stékající po povrchu a jejím zařezáváním do půdy. Prvním stádiem je eroze rýžková či brázdová, kdy na povrchu vznikají úzké rýžky a mělké širší brázdy, které tvoří na postiženém území hustou síť. Voda odtékající v soustředěném odtoku má větší kinetickou energii, čímž transportuje půdu ve větším rozsahu. Důsledkem stékání rýžek a brázd voda dále získává na síle, vzniká rýhová eroze. Pokud zesílí mění se v erozi výmolovou či devastující erozi stržovou, které způsobují hluboké výmoly a strže.[18]

Větrná eroze

Druhým nejvýznamnějším typem v ČR je eroze větrná neboli eolická, jež ohrožuje téměř 10 % výměry orné půdy. Jedná se o území, kde se vyskytují výsušné větry. Pozemky jsou zde sceleny do obrovských jednotek, na kterých se hospodaří monokulturně a vlivu mechanické síly větru (abrazi) není bráněno větrolamy, např. oblasti jižní Moravy a Polabí.

Při větrné erozi dochází k unášení půdních částic různých velikostí. Od velmi jemných zrnek ($<0,1$ mm), která jsou transportována velmi snadno ve formě suspenze, často i na velké vzdálenosti a ve větším množství mohou způsobovat písečné bouře a zákaly atmosféry. Přes částice střední velikosti (0,1-0,4mm), která představují 50-80% celkového objemu přenášeného větrem a způsobují největší škody kolizí a rozrušováním vytvořeného půdního agregátu. Po největší zrna (0,5-2 mm), která se pohybují sunutím po povrchu a představují asi 25% objemu větrné eroze.[7]

Sněhová eroze

Sněhová eroze transportuje půdní částice obdobně jako eroze vodní, avšak vyznačuje se určitými specifiky. Jedním z nich je zanedbatelný vliv kinetické energie dopadajících sněhových vloček na rozrušování povrchu půdy. Erozní účinnost sněhu je tedy výhradně při jeho tání.[7]

2.1.3 Protierozní opatření



Obrázek 2.2: Ilustrace technického protierozního opatření, AOPAK ČR[28]

Pojem protierozní opatření označuje konkrétní kroky vedoucí k minimalizaci negativních dopadů eroze na půdu, vodní toky a nádrže, intravilán obcí apod. Protierozní opatření dělíme na organizační, tj. vhodné umístění pěstovaných plodin, pásové střídání plodin nebo návrhy vegetačních pásů mezi pozemky, agrotechnická (půdoochranné obdělávání) a technická (příkopy, terasy, protierozní nádrže a další). Ve většině případů jde o komplex těchto opatření, která se vzájemně doplňují, aby byly splněny všechny požadavky na ně kladené a zároveň byly respektovány potřeby zemědělské výroby.[7][9]

Organizační protierozní opatření

Základní organizační protierozní opatření je navržení vhodné velikosti a tvaru pozemku a jeho situování delší stranou po vrstevnicích. Dodržení tohoto základního pravidla není vždy jednoduché, neboť proti sobě působí dva faktory. Přírodní, který vede k vytváření menších pozemků s lepší erozní a ekologickou stabilitou, a faktor ekonomický, jenž naopak upřednostňuje tvorbu dostatečně velkých pozemků pro efektivní využívání zemědělských strojů. Tvar a velikost pozemku je tedy kompromisem mezi geografickými podmínkami a požadavky vlastníků (uživatelů) půdy. Obecně se doporučuje navrhování půdních bloků do 50 ha na roviných územích a do 20 ha v územích členitějších.

Dalším krokem je delimitace (vymezení hranic) druhu pozemků, která slouží jako funkční a prostorová optimalizace využití pozemků zemědělského půdního fondu. Ten je rozdelen na ornou půdu, zahrady, louky, pastviny, vinice, sady a chmelnice. K rozdelení dochází na základě erozní ohroženosti pozemků, kdy nejohroženější pozemky, které nemohou být dále využívány jako orná půda, jsou zatravněny. Umístěním trvalého travního porostu by měly být chráněny také průlehy, ochranné hrázky a břehy vodních toků a nádrží. Je vhodné umístění liniových pásů travního porostu v drahách výmolové eroze. Nejúčinnější ochrany proti vodní erozi je dosaženo zalesněním území, optimálně lesem smíšeným.

Důležitým faktorem je tedy přítomnost vegetačního pokryvu, jehož význam je nejvyšší v období letních přívalových dešťů. Vegetace chrání půdu před přímým dopadem dešťových kapek, podporuje vsak vody do půdy a její kořenový systém pomáhá zvyšovat soudržnost půdy vůči stékající vodě. Těchto znalostí se využívá při výběru dalších organizačních opatření, kterými mohou být např. včasný výsev plodin, posunutí podmítky do období s nižším výskytem přívalových dešťů (tj. na září), zařazení bezorebně setých meziplodin a v neposlední řadě rozmístění plodin dle ohroženosti pozemku. Pozemky rovinné nebo mírně sklonité je vhodné využít pro pěstování plodin nedostatečně chránících půdu před erozí (širokořádkové plodiny) a pro pozemky více ohrožené volit plodiny s lepším protierozním charakterem nebo pásové střídání plodin, kdy se střídají pásy plodin chránících půdu (např. travní porost, vojtěška, jetel) s plodinami s nižší protierozní účinností (okopaniny, kukuřice).[9]

Agrotechnická protierozní opatření

Jelikož nejvíce ohrožena erozí je půda bez vegetačního pokryvu, snaží se agrotechnická protierozní opatření zkrátit období, kdy je půda obnažena na minimum. Nejrizikovějšími obdobími jsou zejména období tání sněhu a letních přívalových dešťů. Úspěšným prostředkem je cílené využívání biomasy z meziplodin a posklizňových zbytků, přičemž je třeba dbát na neomezování možnosti infiltrace vody do půdy.

Mezi nejúčinnější způsoby patří technologie ochranného zpracování půdy, kdy je místo orby využíváno kypření půdy bez obracení zpracovávané vrstvy půdy. Ovšem i při orbě lze snížit vliv vodní eroze dodržením pravidla o orání ve směru vrstevnic, kdy brázdy mohou omezit povrchový odtok vody. Dále existuje množství dalších technologií, jež jsou specifické pro pěstované plodiny, jejich přehled je možné najít v metodice Ochrana zemědělské půdy před erozí[9](str. 60-70).[7]

Technická protierozní opatření

Technické prvky jsou základem protierozní ochrany, a to především tam, kde smyv z pozemků má důsledky pro intravilán obce. Jedná se o převážně liniové prvky, které jsou optimálně rozmisťovány tak, aby došlo k přerušení délky svahu a rozčlenění pozemků. Dále mají vliv na agrotechnické opatření, kdy usměrňují směr obdělávání pozemků a způsob hospodaření jejich uživatelů. Vhodná je i jejich kombinace s organizačními opatřeními, kdy po rozdelení svahu liniovými opatřeními jsou do nově vymezených pásů umístěny plodiny s různou protierozním povahou. V neposlední řadě je jejich funkce i ekologického a krajinně estetického charakteru. Technická protierozní opatření jsou navrhována během pozemkových úprav a patří mezi ně průlehy, příkopy, hrázky, meze, ochranné nádrže, stabilizování drah soustředného odtoku a terasování. Způsoby navrhování zmiňovaných opatření lze dohledat v metodice Ochrana zemědělské půdy před erozí[9](str. 70-90). Dále lze čerpat z [10][18].

2.2 Historie

2.2.1 Počátky výzkumu eroze

Výzkumem eroze se začali zabývat vědci v USA začátkem 20. století, jednou z významných osobností při prvních krocích výzkumu byl Hugh Bennett, který začal pozorovat zvýšenou erozi na zemědělské půdě a její vliv na výnos. Bennett na tento rostoucí problém veřejně upozorňoval. Do většího povědomí se však ochrana zemědělské půdy dostala až na přelomu 20. a 30. let v souvislosti s mohutnými prachovými bouřemi (tzv. Dust Bowl, Dirty Thirties).[43]



Obrázek 2.3: Foto bouře v oblasti Dust Bowl z roku 1935, zdroj: Wikimedia Commons[45]

Dust Bowl, slovní spojení, jež bylo původně použito pro oblast vzniku prachových bouří - Velkých planin a následně se stalo synonymem i pro období 30. let (proto také druhý název Dirty Thirties), kdy se bouře objevovaly. Příčinou byla rychlá změna suchých prerií s nízkým srážkovým úhrnem (místy pod 250 mm/rok) na zemědělskou půdu. Tuto změnu umožnilo rozšíření zemědělských strojů, zejména traktorů, díky kterým mohla být na rozsáhlém území využita hluboká orba, kterou byla zničena původní vegetace chránící půdní povrch. Místo původních travin byla na většině území vysazena pšenice, přičemž nebylo dodržováno ani střídavé hospodaření.

Ve spojení s nulovou ochranou půdy došlo tímto způsobem zemědělství v obdobích sucha k proměně půdy v prach, který byl unášen větrem a vytvářel mohutná prachová oblaka devastující krajinu. Erozí zasáhla okolo 100 milionů akrů půdy (v roce 1934 bylo bouří zasaženo dokonce východní pobřeží USA včetně New Yorku), zanechala bez domova téměř 500 tisíc lidí a způsobila stěhování až 3,5 milionu lidí ze zasažené oblasti, čímž se jednalo o největší migrační vlnu v historii USA. Touto katastrofou byla dále prohloubena Velká hospodářská krize.

První reakcí bylo v roce 1929 zřízení deseti výzkumných stanic, ve kterých byla na tzv. jednotkových pozemcích (délka 22,13 m, sklon 9%, trvalý úhor, obdělávání ve směru sklonu) pozorována eroze a měřen smyv. Z měření byly regresní analýzou odvozeny faktory ovlivňující erozi a účinnost ochranných opatření. Další krok učinil v roce 1932 nově zvolený americký prezident Franklin Roosevelt, který v rámci opatření proti trvající hospodářské krizi zřídil úřad zabývající se půdní erozí (SES – Soil Erosion Service), v čele kterého stanul H. Bennett. Tento úřad začal učit farmáře šetrnějším metodám hospodaření, budovat velké množství protierozních opatření, přičemž zaměstnával dělníky zasažené ekonomickou depresí, a samozřejmě pokračoval ve výzkumu eroze.[2][6]

2.2.2 Vývoj USLE



Obrázek 2.4: Foto jednotkových pozemků v Missouri v 50. letech, zdroj: USDA ARS[43]

Díky studiím z výzkumných stanic, které postupně vznikaly, bylo shromážděno velké množství informací, které byly dále využity pro výpočty erozního smyvu. Vývoj

matematických rovnic pro odhad množství půdní eroze a vliv ochranných opatření začal v druhé polovině 30. let. První empirický model(2.1) pro odhad průměrné roční ztráty půdy způsobené vodní erozí publikoval v roce 1940 A. W. Zingg. Jeho rovnice zahrnovala vliv sklonu pozemku a jeho délku. Konstanty byly určovány pro kukuřičný pás (Corn Belt), hlavní zemědělskou oblast USA.[27]

$$G = L^{0,6} \cdot S^{1,4} \cdot C \quad (2.1)$$

G … průměrná roční ztráta půdy

L … délka svahu

S … sklon svahu

C … koeficient zahrnující ostatní faktory

Tento model v roce 1941 rozšířil D. D. Smith, který do rovnice (2.2) zahrnul vliv technických protierozních opatření. Smith jako první využil její výsledky k určení maximální délky svahu na specifickém území a stanovení metod ochrany.[22]

$$G = L^{\frac{3}{5}} \cdot S^{\frac{7}{5}} \cdot P \cdot C \quad (2.2)$$

G … průměrná roční ztráta půdy

L … délka svahu

S … sklon svahu

P … faktor protierozních opatření

C … koeficient zahrnující ostatní faktory

Tato rovnice byla G. M. Browning použita pro sestavení empirického modelu pro stát Iowa (2.3), kde jsou poprvé zahrnuty geologické faktory půdy a agrotechnických opatření.[3]

$$G = 10 \cdot (K' \cdot O' \cdot L' \cdot S' \cdot C' \cdot P') \quad (2.3)$$

G … průměrná roční ztráta půdy

K' … faktor erodovatelnosti půdy

O' … faktor geologického podkladu

L' … délka svahu

S' … sklon svahu

C' ... faktor vegetačního pokryvu

P' ... faktor protierozních opatření

V roce 1947 Musgrave publikoval první erozní model(2.4), který zahrnoval vliv přívalového deště. V této rovnici byly také překlasifikovány hodnoty faktorů pro ku-kuřičný pás.[15]

$$G = K \cdot C \cdot L^{0,35} \cdot S^{1,35} \cdot R^{1,75} \quad (2.4)$$

G ... průměrná roční ztráta půdy

K ... geologický faktor eroze půdy

C ... faktor vegetačního pokryvu

L ... délka svahu

S ... sklon svahu

R ... úhrn deště s periodicitou 0,5 za 30 minut



Obrázek 2.5: Foto jednotkových pozemků v Indianě (1968), zdroj: USDA ARS[43]

V roce 1954 na Purdue University, která měla v té době vedoucí postavení v oblasti výpočetních technologií, vzniklo pod vedením W. H. Wischmeier centrum pro shromažďování dat o půdní erozi (Soil Loss Data Center). Přístup k nejmodernějším technologiím dovolil zrychlit analyzování velkého množství dat (v letech 1940-1965 přes 10 000 zmonitorovaných smyvů ročně), jež byly shromažďovány od 30. let. Výsledkem byla v roce 1965 první kompletní publikace vytvořená týmem

pod vedením Wischmeier a Smith, která byla ještě zpřesněna dalším výzkumem a upravena do současné formy(2.5) publikované v roce 1978.[26]

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2.5)$$

G ... průměrná roční ztráta půdy ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$)

R ... faktor erozní účinnosti deště

K ... geologický faktor eroze půdy

L ... faktor délky svahu

S ... faktor sklonu svahu

C ... faktor vegetačního pokryvu

P ... faktor protierozních opatření

2.2.3 Modifikace USLE

RUSLE

V roce 1997 byla publikována Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy (Revised Universal Soil Loss Equation). Ta byla odvozena na základě revize, prověření a aktualizace USLE. Došlo zde k významné změně způsobu určení erozních faktorů (např. zpřesnění časového průběhu hodnot R faktoru v patnáctidenním intervalu, zpřesnění časového průběhu K faktoru v důsledku zhutňování povrchu a rozpadu půdních agregátů srážkami či obhospodařováním, určení nových vztahů pro LS faktor). Výhodou využití RUSLE je tedy přesnější určení erozního modelu. Nevýhodou je nutnost většího množství vstupních dat.[21]

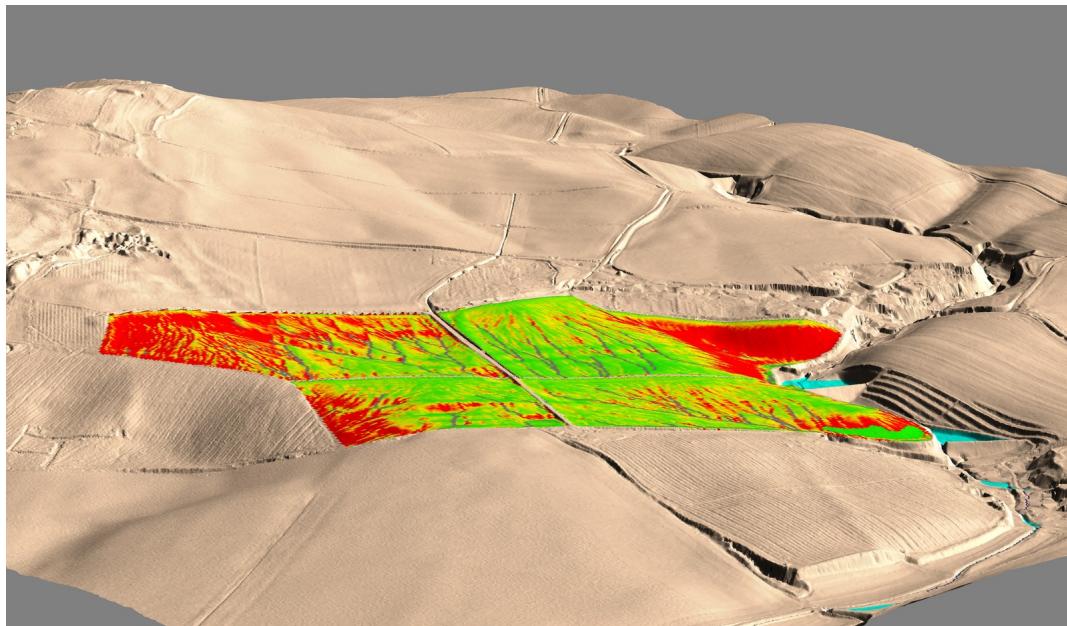
MUSLE

Druhou významnou úpravou je Modifikovaná univerzální rovnice ztráty půdy (Modified Universal Soil Loss Equation), která zahrnuje transportní činitele během erozního procesu a stanovuje množství splavenin z přívalového deště v povodí do velikosti 15 km².[24]

2.2.4 Současný stav

USLE je v současnosti používána pro výpočet dlouhodobé eroze ve většině států světa a je jedinou doporučenou metodou v ČR (Metodika VÚMOP[9]), k níž existují rozsáhlá katalogová data. Jsou vytvořeny postupy pro její výpočet v softwarech GIS a je přímo implementována pro automatické zpracování programy jako jsou USLE2D či modulem Eroze pro Atlas DMT. Ovšem i přes úpravy a postupné zlepšení schopnosti odhadu dlouhodobé ztráty půdy jsou USLE i další zmíněné metody empirické, tedy založené na využití koeficientů získaných při pozorování v terénu (na jednotkových pozemcích). Jejich přesnost je tedy závislá na přesnosti klasifikace jednotlivých faktorů pro specifickou situaci.

V posledních letech je snaha omezit zavedený empirický základ při posuzování erozních procesů a nahradit ho kvalitnějšími simulačními metodami. Cílem této změny je hodnotit důsledky eroze nejen vůči zemědělské půdě, ale i vůči jiným ekologickým celkům (např. vodní toky, nádrže) a také řešení eroze na kratším časovém horizontu. K vývoji a zdokonalování simulačních modelů přispívá rozvoj výpočetní techniky, geografických informačních systémů a rozšiřování znalostí v dané oblasti.[9]



Obrázek 2.6: Ukázka z výpočtu v GIS aplikaci Eroze pro Atlas DMT, zdroj: Atlas DMT[29]

2.3 Univerzální rovnice ztráty půdy

2.3.1 Faktor erozní účinnosti přívalového deště (R)

I přesto, že významnější rýhová eroze je pozorována zejména po neobvykle silných přívalových deštích, během výzkumu byla prokázána nutnost při odhadu průměrné roční ztráty půdy uvažovat i deště se střední intenzitou. Pro USLE byl použit vztah odvozený Wischmeierem[25], který nejlépe approximaloval hodnoty působení faktoru deště získané z jednotkových pozemků při stálosti ostatních faktorů. V tomto vztahu nebyl zahrnut smyv při zavlažování či působení sněhové eroze (tání, obleva), která může být významná v horských oblastech v jarním období, a pro její určení je nutné využít speciální vztah.

Pro určení srážkového erozního faktoru jsou využity deště oddělené od sebe alespoň 6 hodin, přičemž nejsou uvažovány ty s úhrnem nižším než 12,5 mm (0,5 palce) nebo 6,25 mm (0,25 palce) za 15 minut, jelikož jejich vliv je zanedbatelný.

Dle definice je hodnota R (v anglické literatuře též označováno jako parametr EI) dána součinem kinetické energie deště s jeho maximální 30minutovou intenzitou (2.6). Jelikož se ukázalo, že samotná energie nedostatečně popisuje destruktivní vliv dopadajících kapek na půdní povrch.[26]

$$R = E \cdot \frac{i_{30}}{100} \quad (2.6)$$

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

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

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

Celková kinetická energie deště je sumou ze všech úseků deště (2.7), kdy jednotlivá kinetická energie závisí na intenzitě a úhrnu (2.8).[26]

$$E = \sum_{i=1}^n E_i \quad (2.7)$$

$$E_i = (206 + 87 \log i_{si}) \cdot H_{si} \quad (2.8)$$

$E_i \dots$ kinetická energie i-tého úseku deště ($J \cdot m^{-2}$)

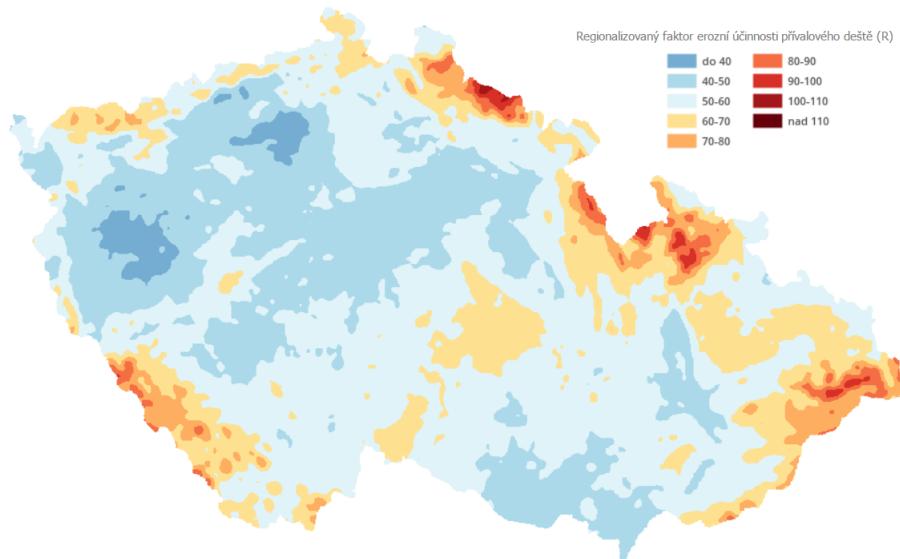
$i_{si} \dots$ intenzita i-tého úseku deště ($cm \cdot h^{-1}$)

$$H_{si} \cdots \text{úhrn v i-tém úseku deště (cm)}$$

Na základě vypočtených hodnot byla pro USA vytvořena mapa zobrazující pomocí izolinií průměrné hodnoty R faktoru. [26] V ČR je dle platné metodiky doporučeno využívat průměrnou hodnotu.[9]

Ta byla původně stanovena na $20 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$. Vycházela z měření průměrného úhrnu deště na třech stanicích. Pro výpočet byly jejich hodnoty sníženy o 12,5 mm. Po použití dat z více stanic a provedení lepšího metodického rozboru erozní účinnosti deště bylo určeno, že R faktor se na většině zemědělsky využívaném území ČR pohybuje mezi hodnotami 30 až $45 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$, pročež je doporučeno volit tento faktor jako konstantní hodnotu $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$.[9]

Regionalizovanou mapu (obr. 2.7) s nejnovějšími hodnotami R faktoru lze najít na serveru SOWAC-GIS.[31]



Obrázek 2.7: Regionalizované rozdělení faktoru R

2.3.2 Faktor struktury půdy (K)

Faktor erodovatelnosti půdy udává náhylnost půdy, jako samotné matérie, k erozi. Měření probíhalo na jednotkových pozemcích ponechaných ladem, přičemž ostatní faktory (kromě faktoru R, kterým byla celková eroze vydělena) byly rovny jedné. Jedná se o komplikovanou proměnnou závislou na struktuře, textuře a dalších fyzických i chemických vlastnostech zeminy.[26]

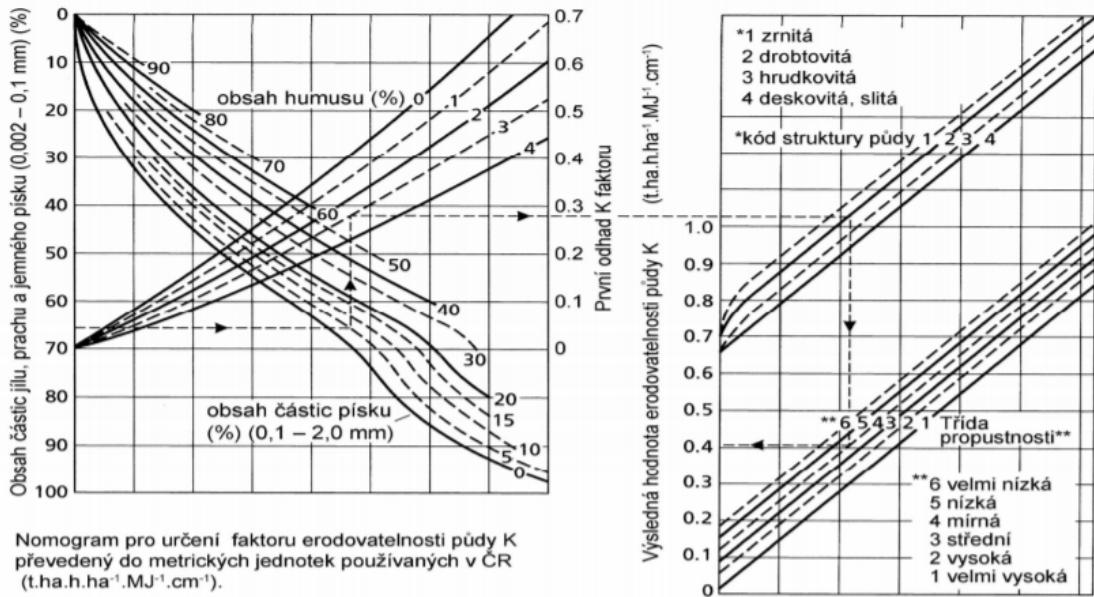
První možností, jak získat faktor erodovatelnosti, je přibližné určení podle hlavní půdní jednotky (HPJ) bonitačního půdního systému (tab. 2.1) nebo Taxonomického klasifikačního systému půd ČR[17], jež je rovněž tabelován[9]. Jedná se o obdobné řešení jako v původním modelu pro USA, kdy byly vybrány hlavní půdní typy, pro které byl K faktor určen.[26]

HPJ	K	HPJ	K	HPJ	K	K	HPJ
1	0,41	19	0,33	36	0,26	54	0,40
2	0,46	20	0,28	37	0,16	55	0,25
3	0,35	21	0,15	38	0,31	56	0,40
4	0,16	22	0,24	40	0,24	57	0,45
5	0,28	23	0,25	41	0,33	58	0,42
6	0,32	24	0,38	42	0,56	59	0,35
7	0,26	25	0,45	43	0,58	60	0,31
8	0,49	26	0,41	44	0,56	61	0,32
9	0,60	27	0,34	45	0,54	62	0,35
10	0,53	28	0,29	46	0,47	63	0,31
11	0,52	29	0,32	47	0,43	64	0,40
12	0,50	30	0,23	48	0,41	67	0,44
13	0,54	31	0,16	49	0,35	68	0,49
14	0,59	32	0,19	50	0,33	70	0,41
15	0,51	33	0,31	51	0,26	71	0,47
16	0,51	34	0,26	52	0,37	72	0,48
17	0,40	35	0,36	53	0,38	73	0,48
18	0,24						

Vynechané HPJ nemají K faktor určen kvůli nedostatku dat.

Tab. 2.1: Hodnoty K faktoru pro jednotlivé HPJ dle metodiky [9].

Druhou a přesnější metodou, je použití definovaného vztahu, který je podrobně rozebrán Janečkem[9] na str. 13, či použití z něho odvozeného nomogramu(obr.2.8). Ovšem pro toto věrnější určení K faktoru je nezbytné mít k dispozici výsledky rozborů půdy z daného území.[9]



Obrázek 2.8: Nomogram pro stanovení K faktoru (zdroj: Janeček[9])

2.3.3 Topografický faktor (LS)

I přestože faktory sklonu a délky svahu byly zkoumány odděleně a oba jsou reprezentovány vlastní rovnicí pro výpočet eroze, jsou často uváděny jako jeden tzv. topografický faktor.[26]

Původní a dodnes využívanou metodou pro jeho určení je výpočet v tzv. reprezentativních odtokových drahách, které jsou voleny od místa vzniku povrchového odtoku. Tedy rozvodnice či hrany pozemku, pokud je tento pozemek erozně izolován, po místo, kde se plošná eroze mění v soustředný odtok. Dále už není možné pro výpočet eroze použít metodu USLE, jelikož slouží pouze pro výpočet plošné eroze. Také není doporučeno, aby délka rozvodnice přesáhla 400 m, jelikož výsledky USLE pro větší délky nejsou ověřeny.[9]

Faktor délky svahu - L

Při použití reprezentativních odtokových drah se faktor L určí pomocí vztahu (2.9), který byl definován v RUSLE[21] a jehož výsledkem je poměr ztráty půdy na jednotku plochy svahu ke ztrátě na jednotkovém pozemku (délka 22,13 m, sklon 9%).[9]

$$L = \left(\frac{l}{22,13} \right)^m \quad (2.9)$$

$l \dots$ horizontální projekce nepřerušené délky svahu (m)

$m \dots$ exponent náchylnosti svahu ke vzniku rýžkové eroze dle sklonu

svahu, tabelovaný v RUSLE[21]

Faktor sklonu svahu - S

Obdobně je tomu u vztahu pro faktor sklonu svahu, jež se liší pro sklony nižší než 9% (2.10) a silnější (2.11). Tyto vztahy byly také uvedeny v RUSLE[21].

$$S = 10,8 \cdot \sin \Theta + 0,03 \quad (2.10)$$

$$S = 16,8 \cdot \sin \Theta - 0,50 \quad (2.11)$$

$\Theta \dots$ úhel sklonu svahu (rad)

Výpočet faktoru LS s využitím GIS

Druhou metodou je výpočet LS faktoru s pomocí GIS, kdy je výpočet proveden pro mikropovodí v každém pixelu. Pro výpočet LS faktoru existuje celá řada definovaných vztahů, jejichž porovnáním se zabýval Krása[11]. Pro české podmínky se používá s dostatečnou přesností rovnice(2.12) odvozená Mitášovou[14].[5]

$$LS_{x,y} = (m+1) \cdot \left(\frac{A_{x,y}}{22,13} \right)^m \cdot \left(\frac{\sin b_{x,y}}{0,09} \right)^n \quad (2.12)$$

$LS_{x,y} \dots$ LS faktor pixelu o souřadnicích x, y

$A \dots$ jednotková zdrojová plocha na vstupu do buňky ($m^2 \cdot bm^{-1}$)

$b \dots$ sklon buňky (rad)

$m \dots$ kalibrační parametr, obvykle 0,6

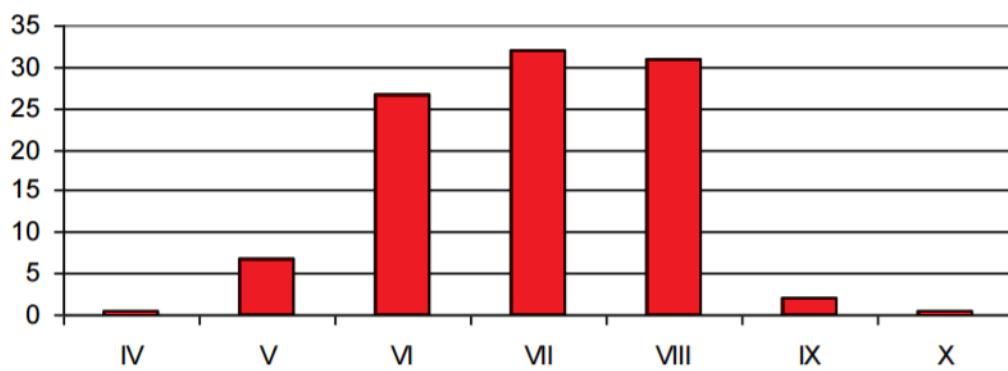
$n \dots$ kalibrační parametr, obvykle 1,3

Při výpočtu jsou klíčovými faktory určení rastru zdrojových ploch, přičemž by neměl být použit model s jednosměrným odtokem, a zohlednění přerušení povrchového odtoku.[11]

2.3.4 Faktor ochranného vlivu vegetace (C)

Vegetační faktor se uplatňuje především přímou ochranou půdy před dopadajícími dešťovými kapkami, dále zpomaluje povrchový odtok, zpevňuje půdu kořenovým systémem a nepřímo se vlivem vegetace mění i vlastnosti půdy.

Účinnost ochranného vlivu vegetace se projevuje zejména v období zvýšeného výskytu přívalových dešťů (obr. 2.9). Nejdokonaleji půdu chrání les, vysokou protierozní účinnost mají též traviny a jeteloviny. Nedostatečně půdu chrání širokořádkové plodiny jako je kukuřice nebo okopaniny a téměř vůbec není půda chráněna na vinicích a chmelnicích.



Obrázek 2.9: Rozdělení faktoru R během vegetačního období [%] dle [9]

Faktor C vyjadřuje poměr smyvu z pozemku chráněném pěstovanou plodinou ku smyvu na pozemku, jež je udržován jako úhor, kypřený po každém dešti. Nejlepší metodou je zjištění struktury plodin, osevních postupů a metodiky hospodaření od zemědělského subjektu užívajícího daný pozemek.

Pro určení vegetačního faktoru lze využít Protierozní kalkulačku[39], která po vybrání příslušného osevního postupu zobrazí C faktor pro celé období postupu. Toto určení C faktoru vychází z následující tabulky 2.2.

Osevní postup	Výrobní oblast - zaměření	Plodiny	C
Standartní	Bramborářská - brambory	(je, br, op, oz, br, jj)	0,27
Standartní	Bramborářská - chov skotu	(je, op, ks, ks, ov)	0,27
Standartní	Bramborářská - tržní plodiny	(br, op, or, oz, jj)	0,32
Standartní	Kukuřičná - bez ŽV	(op, kz, jj, or, op)	0,29
Standartní	Kukuřičná - tržní plodiny	(kz, ks, op, jj)	0,32
Standartní	Obilnářská	(je, op, jj, ks, op, br, jj)	0,50
Standartní	Obilnářská - obiloviny	(hr, op, jj, or, op, jj)	0,29
Standartní	Obilnářská - tržní plodiny	(je, oz, br, jj)	0,23
Standartní	Pícninářská	(jt, jt, br, jj, ov)	0,17
Standartní	Pícninářská	(jt, jt, jt, ov, br, jj)	0,15
Standartní	Řepařská - cukrovka	(cu, jj, hr, op)	0,11
Standartní	Řepařská - tržní plodiny	(op, hr, or, op)	0,27
Ochranný	bez ŽV	(los, br, op, jj, hr, op)	0,20
Ochranný	bez ŽV	(op, kz, jj, or, op)	0,22
Ochranný	produkce mléka	(jts, jts, op, ov, br, oz)	0,33
Ochranný	chov prasat a skotu	(jts, jts, op, br, los, oj)	0,18
Ochranný	chov prasat	(jts, op, los, hr, oj)	0,17
Ochranný	pásma ochrany vod a CHKO	(je, op, jj, or, op, jj)	0,17
Ochranný	pásma ochrany vod a CHKO	(jts, jts, jts, op, oz, ov)	0,17
Ochranný	pásma ochrany vod a CHKO	(jts, op, oz, gps, jj)	0,11
Ochranný	pásma ochrany vod a CHKO	(jts, or, op, jj, ov)	0,16

Tab. 2.2: Hodnoty C faktoru pro jednotlivé osevní postupy dle metodiky[9].

2.3.5 Faktor protierozních opatření (P)

Při využití agrotechnických metod protierozní ochrany, jako jsou konturové obdělávání, pásové střídání plodin, hrázkování či terasování, je snižován faktor P. Důležité ovšem je dodržet podmínky maximálních délek a počtu pásů, jinak musí být volena základní hodnota P faktoru, tedy $P = 1$.

Přehled všech metod a hodnot P faktoru lze najít v USLE[26] nebo Janečkově metodice[9].

2.3.6 Přípustná průměrná dlouhodobá ztráta půdy (G_P)

Dle vypočteného faktoru G lze rozdělit potenciální ohrožení půdy do 6 kategorií.[44]

Kategorie	G ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$)	Kategorie ohroženosti vodní erozí
1	méně než 1,0	velmi slabě ohrožená
2	1,1 - 2,0	slabě ohrožená
3	2,1 - 4,0	středně ohrožená
4	4,1 - 8,0	silně ohrožená
5	8,1 - 10,0	velmi silně ohrožená
6	více než 10,1	extrémně ohrožená

Tab. 2.3: Rozdělení potenciální ohroženosti půdy dle VÚMOP [44].

Pro dlouhodobé zachování výrobních, ale i nevýrobních, funkcí půdy je definována přípustná průměrná roční ztráta, která by neměla být překročena. Pokud k tomu na pozemku dojde, je třeba zvolit účinnější protierozní postupy. Hodnota faktoru dlouhodobé ztráty půdy se odvíjí od hloubky půdy. Tu lze kromě terénního měření určit rovněž z 5. číslice kódu BPEJ.[9]

Mělké půdy (čísla 5 a 6) je doporučeno zatrvnit, případně zalesnit. Kromě půd s kódem 8 a 9, pro které je třeba hloubku půdy potřeba zjistit terénním průzkumem, je pro ostatní půdy přípustná hodnota $G_P = 4,0 t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$.[18]

3 Podklady

V této kapitole jsou popsány mapové podklady, jež jsou využívány při výpočtu faktorů pro USLE. V České republice se jedná zejména o vrstvy BPEJ (K, G_P), LPIS (C) a DMT(LS).

3.1 BPEJ

Prvním krokem k vytvoření systému hodnocení půdy BPEJ bylo v roce 1961 zahájení celosvětově ojedinělého Komplexního průzkumu půd(KPP), při kterém bylo odebráno okolo 700 000 půdních sond, ze kterých byly zpracovány mapové podklady. Na základě nichž začala v roce 1971 tvorba systému ocenění zemědělské půdy - proběhla tzv. Bonitace zemědělského půdního fondu.

Původní mapy 1 : 5000 byly zvektORIZOVány do bonitačního informačního systému, který je průběžně aktualizován a zpřesňován. Přehled všech informací o BPEJ je dostupný v eKatalogu BPEJ od VÚMOP[30]. Ke 3.4.2017 Státní pozemkový úřad uvolnil celostátní databázi volně ke stažení ve formátu Esri Shapefile[42].



Obrázek 3.1: Struktura kódu BPEJ, zdroj: VÚMOP[30]

Bonitovaná půdně ekologická jednotka je vyjádřena pětimístným kódem ve formátu - X.XX.XX. Kdy první číslice určuje příslušící klimatický region(0-9). Druhá a třetí zařazuje půdu do hlavní půdní jednotky(HPJ)(01-78), pomocí které je ve většině případů možné určit K faktor (viz. tab.2.1). Čtvrtá číslice vymezuje kombinaci sklonitosti a expozice svahu ke světovým stranám(0-9). Pátá číslice určuje kombinaci skeletovitosti půdního profilu s hloubkou půdy(0-9), tato číslice je využívána pro získání hloubky půdy při určení G_P .[19]

3.2 LPIS



Obrázek 3.2: Ukázka online GIS aplikace Registr půd, zdroj: Registr půd[41]

V roce 1999 se Česká republika zavázala před vstupem do EU vybudovat systém evidence půdy, který bude založený na uživatelských vztazích. Jelikož takový systém v ČR do té doby nebyl, tak první verze z roku 2002 vznikla zakreslením půdních bloků z leteckých snímků do offline geografického informačního systému. Tyto bloky byly následně schváleny příslušnými uživateli půdy. Toto první řešení bylo v roce 2004 nahrazeno online aplikací Registr půdy[41], která usnadnila přístup k materiálům LPIS. Ty lze z Registru půdy exportovat pro vybrané území.[41]

Při výpočtu USLE se LPIS využívá k rozdelení na jednotlivé erozně uzavřené celky(EUC) neboli pozemky, na kterých je eroze počítána. Dále může být využito rozdelení pozemků dle kultur, pomocí kterého je možné určit zakládní C faktor a stanovit pozemky s ornou půdou, pro které je třeba zjistit pěstované plodiny.[18]

Kód	Kultura	C faktor
R	orná půda	dle pěstované plodiny
C	chmelnice	0,8
V	vinice	0,8
S	ovocný sad	0,45
T	travní porost	0,005
L	zalesněno	0,003-0,009
O	jiná kultura	nutno určit kulturu

Tab. 3.1: Rozdelení kultur na zemědělské půdě dle LPIS[41] s C faktory dle[9].

3.3 DMT

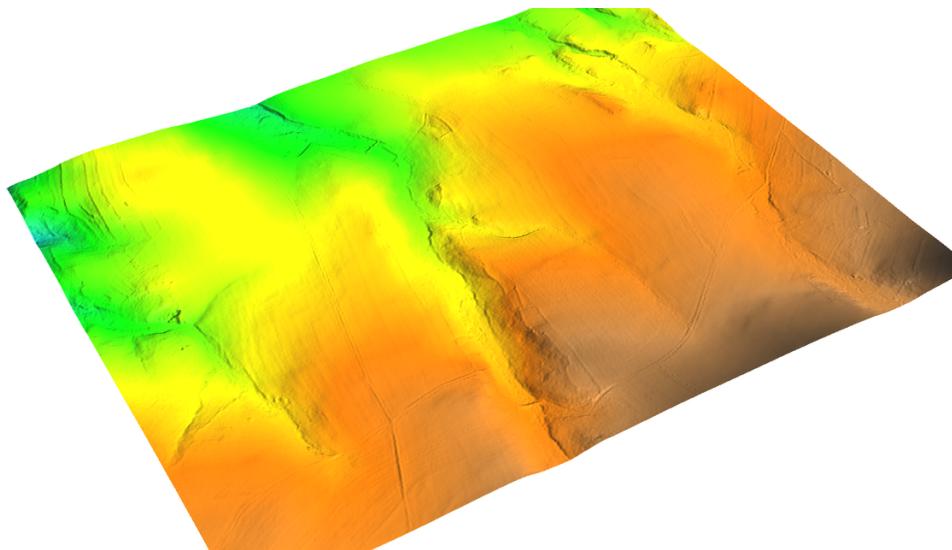
Pro výpočet LS faktoru s využitím GIS se v ČR používá především digitální model reliéfu vytvořený ČÚZK[32]. Výpočty nad DMR 4G jsou rychlejší díky pravidelné mřížce, zatímco výpočty nad DMR 5G poskytují přesnější model terénu.

3.3.1 DMR 4G

Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G) vznikl leteckým laserovým skenováním v letech 2009 až 2013. DMR 4G zobrazuje přirozený nebo lidskou činností upravený zemský povrch v pravidelné síti 5×5 m, která je tvořena body s určenou nadmořskou výškou (Bpv). Pro tento model byla vypočtena úplná střední chyba výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu.

3.3.2 DMR 5G

Pro vytvoření páté generace digitálního modelu terénu byla použita stejná data jako pro čtvrtou generaci. DMR 5G se tedy od předchozího DMR 4G liší především použitím nepravidelné trojúhelníkové bodové sítě (TIN). Tím bylo dosaženo nižší úplné střední chyby výšky a to 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu.

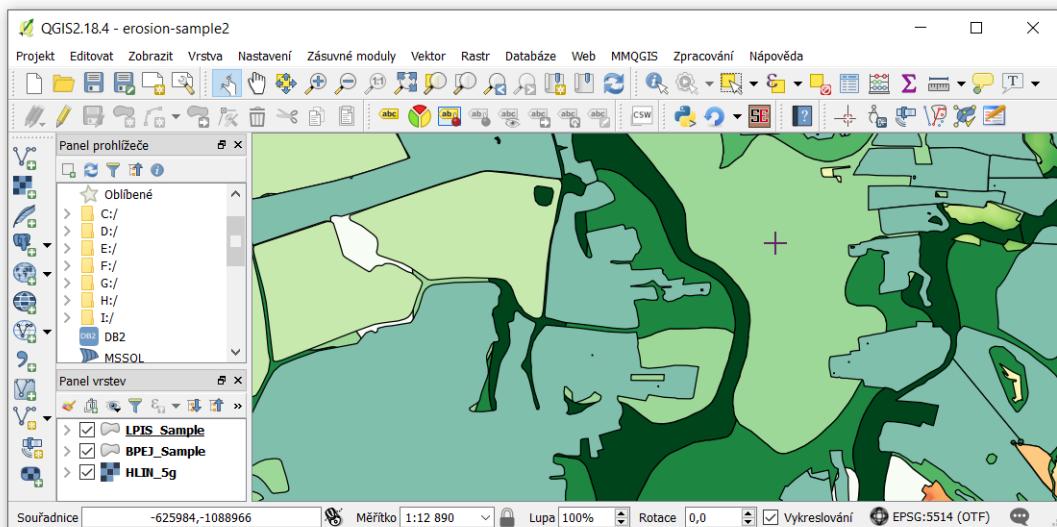


Obrázek 3.3: Ukázka Digitálního modelu reliéfu, zdroj: Gismentors[33]

4 Technologie

Cílem této kapitoly je v krátkosti popsat technologie, jež byly použity pro implementaci teoretických poznatků do softwarového nástroje – zásuvného modulu pro QGIS.

4.1 QGIS ¹



Obrázek 4.1: Náhled prostředí QGIS 2.18, zdroj: autor

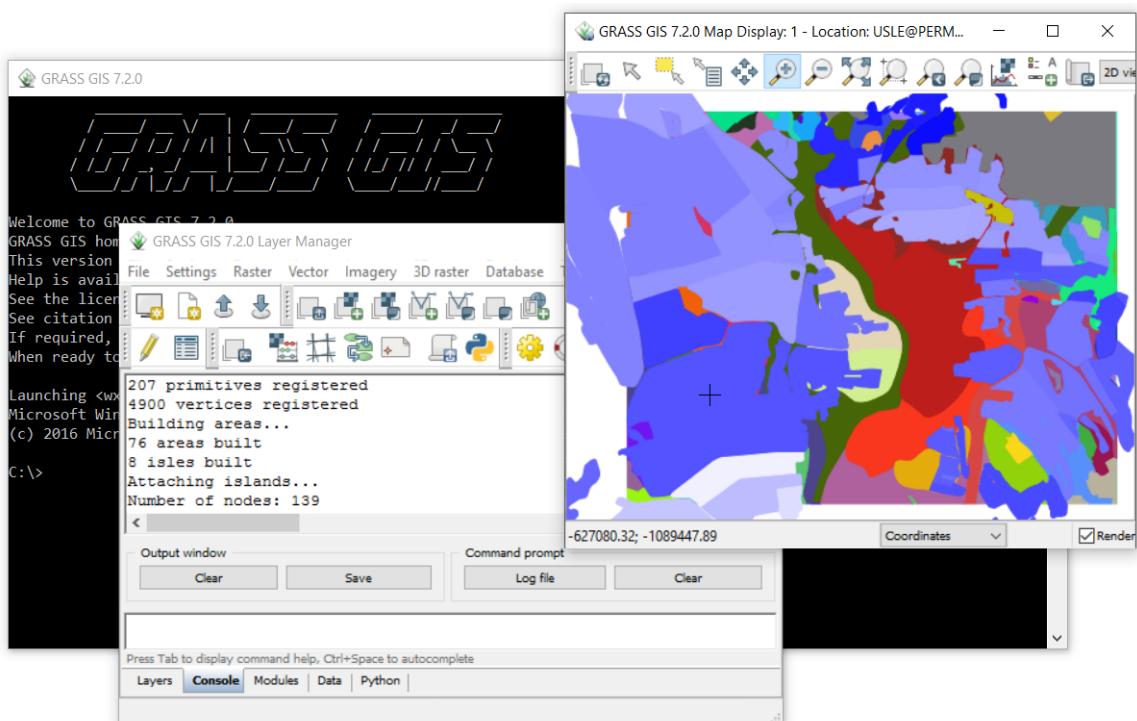
QGIS, jehož název vychází z původně používaného Quantum GIS, je open source (licence GNU/GPL) geografický informační systém (GIS) dostupný z platforem Mac OS X, Linux, Unix, a Microsoft Windows, přičemž od roku 2014 je vyvíjena i verze pro Android. Samotný vývoj QGIS začal Gary Sherman v roce 2002, poté byl projekt zařazen do Open Source Geospatial Foundation (2007) a v roce 2009 vyšla jeho první verze. V současnosti je aktuální verzí 2.18, jež by měla být poslední v druhé řadě, přičemž by měla být nahrazena verzí 3.0, která bude postavena na Python 3 s PyQt5. Od svého vzniku je QGIS udržován a dále vyvíjen dobrovolníky.

QGIS podporuje většinu funkcí, které jsou od GIS očekávány, ať už se jedná o podporu mnoha vstupních formátů vektorových i rastrových dat, výběr a úpravy objektů nebo práci s atributovými tabulkami. Výhodou je rovněž podpora nástrojů GRASS GIS, pomocí kterých jsou zvládány složitější výpočetní operace. Silnou

¹<http://www.qgis.org/>

stránkou jsou rovněž zásuvné moduly (pluginy). Díky rozsáhlé uživatelské komunitě v akademickém, ale stále častěji i profesním prostředí, a veřejné licenci GNU/GPL, pod kterou celý QGIS funguje, je vývoj nových zásuvných modulů značně zjednodušen. V QGIS je pluginů velké množství, čímž se významně rozšiřují možnosti práce se softwarem. Zásuvný modul pro QGIS je i výsledkem této práce.[13]

4.2 GRASS GIS ²



Obrázek 4.2: Náhled prostředí GRASS GIS 7.2.0, zdroj: autor

GRASS GIS (Geographic Resources Analysis Support System) je stejně jako QGIS multiplatformním geografickým informačním systémem, který je volně šířitelný pod licencí GNU/GPL. Jeho vývoj započala U.S. Army Corps of Engineer/CERL (Construction Engineering Research Lab) už počátkem 80. let, na jejich konci byly veškeré zdrojové kódy uvolněny veřejnosti a v roce 1995 CERL z projektu odešel úplně. Další vývoj se poté začal odehrávat na akademické půdě, především na Baylor University v Texasu, USA a v Hannoveru v Německu. V roce 2008 byl projekt zařazen do Open Source Geospatial Foundation.

²<https://grass.osgeo.org/>

GRASS pracuje s vektorovými i rastrovými daty pomocí modulů, kterých je z obdobných důvodů jako u QGIS mnoho. Technika použití modulů je spjata s dlouhou historií a počátky vývoje softwaru, kdy bylo potřeba s výkonem procesoru i využitím operační paměti šetřit.

Dalším specifikem GRASS GIS je nutnost pracovat s daty v pevně definované adresářové struktuře, díky čemuž je uživatel nucen data systematizovat. Struktura je rozdělena na databázi, lokaci a mapset.

- **Databáze** (Databanka) je běžným adresářem na disku a obsahuje veškerá data, ke kterým GRASS přistupuje.
- **Lokace** (Projekt) je adresář umístěný v databance, pro který je definován souřadnicový systém a jeho obsahem jsou data související s daným projektem.
- **Mapset** tvoří soubor map z jedné lokace, jež jsou určitým způsobem logicky provázány. Součástí každé lokace je mapset s názvem PERMANENT, který by měl obsahovat základní datové vrstvy.

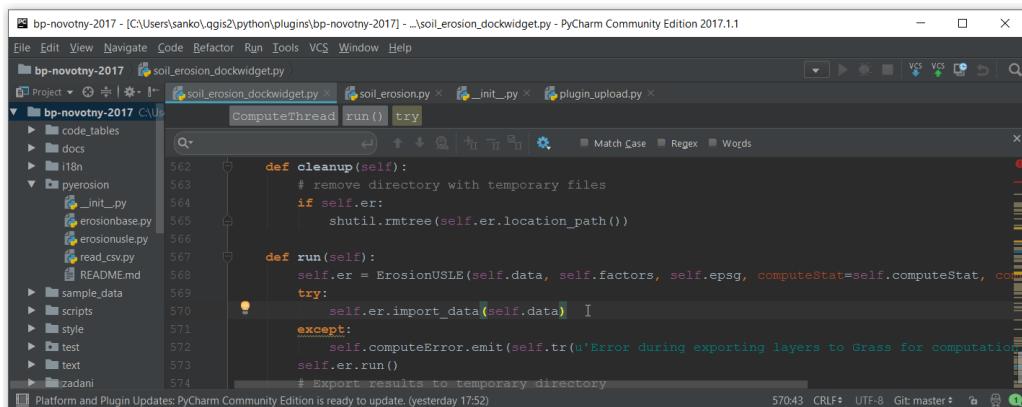
GRASS je možné ovládat, jak z příkazové řádky, tak pomocí GUI. Další možností je přistupovat k modulům GRASS pomocí GUI QGIS, které mnoho uživatelů shledává přívětivějším.[16]

4.3 Python ³

Celý kód byl psán ve skriptovacím programovacím jazyce Python. Jedná se o objektově orientovaný jazyk představený v roce 1991 Guido van Rossumem. Python je dále vyvíjen jako open source projekt, který je zdarma distribuován na většinu platform. Jazyk se vyznačuje jednoduchou, ale účelnou syntaxí, reprezentovanou např. dynamickou kontrolou datových typů nebo definicí bloků pomocí odsazování. Výhodou Pythonu je i jeho poměrně snadné rozšíření jazykem C, který je výkonnější a dokáže zrychlit náročnější operace.

V současné době je stále nejvyužívanější verzí Python 2.7.x, kterou byla druhá řada ukončena a nyní se v ní jen opravují chyby. Už od roku 2008 je ve vývoji třetí řada, ta však není zpětně kompatibilní. Proto je potřeba software napsaný v Python 2 pro novou verzi adaptovat. Kód pluginu vyvíjeného v této práci byl již vytvářen s ohledem na novou verzi Python 3 a měl by být kompatibilní s oběma verzemi. [20][12]

4.4 Pycharm ⁴



Obrázek 4.3: Náhled vývojového prostředí PyCharm, zdroj: autor

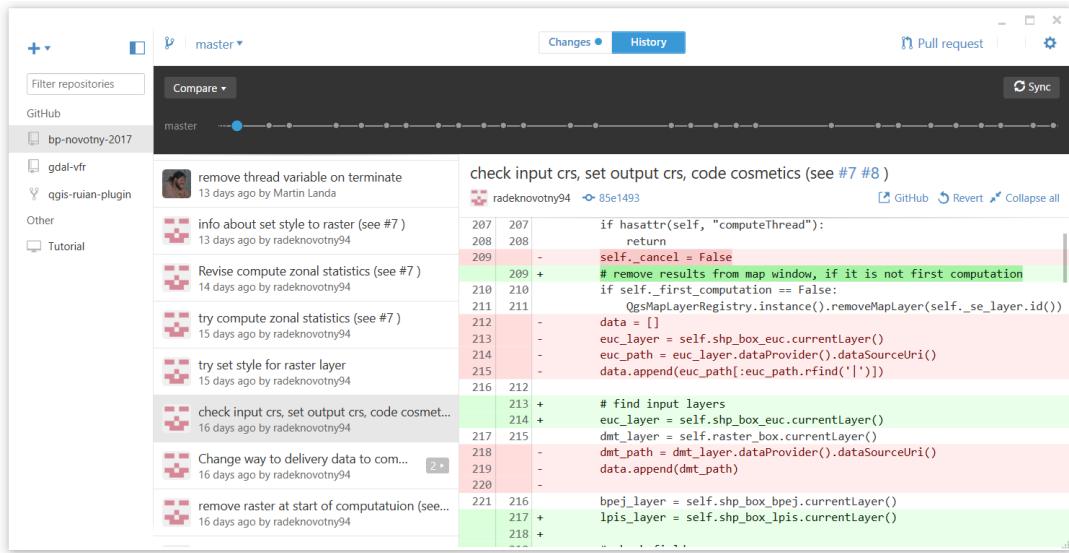
Pro vývoj zdrojového kódu bylo využito vývojové prostředí (IDE - Integrated Development Environment) PyCharm, který byl vyvinut českou společností JetBrains. Toto prostředí bylo vytvořeno primárně pro Python a pro open source projekty

³<https://www.python.org/>

⁴<https://www.jetbrains.com/pycharm/>

je zdarma. Jeho výhodami jsou automatické doplňování textu, hledání syntaktických chyb či vytváření oddělených projektů. Osobně oceňuji zejména přehlednost a rychlosť psaní kódu v tomto IDE.[8]

4.5 GitHub ⁵



The screenshot shows the GitHub web interface. On the left, there's a sidebar with repositories like 'gdal-vfr' and 'qgis-ruian-plugin'. The main area shows a commit history for 'bp-novotny-2017' under the 'master' branch. A specific commit by 'radeknovotny94' is selected, showing a diff between the commit message and the code changes. The code changes are highlighted with green for additions and red for deletions. The commit message is: 'check input crs, set output crs, code cosmetics (see #7 #8)'.

```

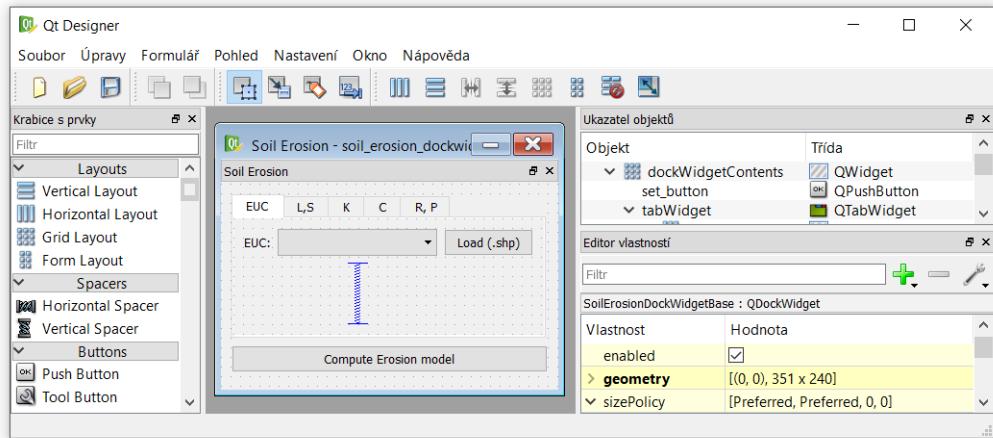
diff --git a/qgis_raster.cpp b/qgis_raster.cpp
index 85e1493..209... 100644
--- a/qgis_raster.cpp
+++ b/qgis_raster.cpp
@@ -207,20 +209,21 @@ if hasattr(self, "computeThread"):
     return
- self._cancel = False
+ self._cancel = False
 # remove results from map window, if it is not first computation
- if self._first_computation == False:
+ if self._first_computation == False:
     QgsMapLayerRegistry.instance().removeMapLayer(self._se_layer.id())
- data = []
+ data = []
 euc_layer = self.shp_box_euc.currentLayer()
- euc_path = euc_layer.dataProvider().dataSourceUri()
+ euc_path = euc_layer.dataProvider().dataSourceUri()
 data.append(euc_path[:euc_path.find('|')])
@@ -212,20 +214,21 @@ data.append(euc_path[:euc_path.find('|')])
 # find input layers
- euc_layer = self.shp_box_euc.currentLayer()
+ euc_layer = self.shp_box_euc.currentLayer()
 dmt_layer = self.raster_box.currentLayer()
- dmt_path = dmt_layer.dataProvider().dataSourceUri()
+ dmt_path = dmt_layer.dataProvider().dataSourceUri()
 data.append(dmt_path)
@@ -217,20 +219,21 @@ data.append(dmt_path)
 bpej_layer = self.shp_box_bpej.currentLayer()
- lpis_layer = self.shp_box_lpis.currentLayer()
+ lpis_layer = self.shp_box_lpis.currentLayer()
@@ -221,20 +223,21 @@ lpis_layer = self.shp_box_lpis.currentLayer()
 
```

Obrázek 4.4: Náhled verzovacího prostředí GitHub, zdroj: autor

GitHub je webová služba podporující verzovací nástroj Git, což je distribuovaný (kolektivní) systém správy verzí. Git byl vytvořen Linusem Torvaldsem pro vývoj jádra operačního systému Linux. Na tomto základu je tedy postaven GitHub, který je pro komerční využití placenou službou. Ovšem pro open source projekty funguje zdarma a nabízí vytvoření repositáře se zdrojovým kódem, dokumentací, historií verzování, systémem pro sledování problémů (Issue tracking), zobrazování rozdílů mezi verzemi a mnoha dalšího.[1]

⁵<https://github.com/>

4.6 Qt ⁶



Obrázek 4.5: Náhled prostředí Qt Designer, zdroj: autor

Qt je multiplatformní aplikační framework, který je využíván pro tvorbu aplikací s grafickým uživatelským rozhraním (GUI). Qt toolkit byl vytvořen v roce 1999 firmou Trolltech, v roce 2008 jej odkoupila společnost Nokia, která je stále hlavním vývojářem toolkitu, přestože v roce 2011 prodala licenci na komerční projekty vytvořené v Qt firmě Digia.

Hlavními aplikacemi jsou Qt Creator, sloužící ke kompletní tvorbě aplikací, a Qt Designer, pomocí kterého je navrhováno samotné GUI. Výhodou je přizpůsobení výsledného GUI nativnímu vzhledu operačního systému. Qt podporuje používání řady jazyků, od výchozího C++ po Python, který je na Qt navázán pomocí frameworku PyQt.[4] [23]

⁶<https://www.qt.io/ide/>

5 Praktická část

Následující kapitola pojednává o výsledku celé této práce, zásuvném modulu Soil Erosion pro QGIS, a to zejména o zvolených technických řešeních. Informace o pluginu z pohledu uživatele shrnuje manuál nacházející se v příloze A.

5.1 Vývoj

Při vývoji pluginu bylo čerpáno z literatury o programu QGIS[13] a programovacím jazyce Python[12][20], ale také využito internetu a zkušeností široké základny vývojářů QGIS[35][40]. Celý vývoj probíhal v angličtině s využitím webové služby GitHub (kap. 4.5), jež podporuje verzovací nástroj Git. Celá práce je tedy, kromě přiloženého CD, dostupná právě i z GitHub repositáře[38].

5.1.1 Kostra

Pomocí zásuvného modulu Plugin Builder, který je zařazen do oficiálního repositáře QGIS (kap. 4.1), byl vytvořen adresář se základní kostrou pluginu obsahující soubory se základním grafickým uživatelským rozhraním (GUI), zdrojovým kódem a informacemi o zásuvném modulu.

5.1.2 Grafické uživatelské rozhraní

Na tuto základní kostru bylo navázáno vytvořením GUI v programu Qt Designer (kap. 4.6). Modul je tvořen jedním oknem z třídy `QDockWidget`, jež umožňuje ukotvení pluginu do rozhraní programu QGIS. V tomto okně je vnořen objekt třídy `QTabWidget` rozdělující GUI na pět záložek – EUC pro definici vrstvy obsahující erozně uzavřené celky a dále LS, K, C a RP, které tematicky odpovídají faktorům rovnice USLE počítaným ze zadaných vstupů.

Definování vstupů v jednotlivých záložkách probíhá pomocí rozbalovacího seznamu z třídy `QgsMapLayerComboBox`, který obsahuje vrstvy načtené v QGIS. Pro tento seznam bylo nastaveno omezení typu vrstvy dle požadavků dalšího výpočtu. Druhou možností vstupu vrstvy je tlačítko třídy `QPushButton`, které načítá do QGIS novou vrstvu znova s omezením na její typ. Poslední typ vstupu se nachází v záložce RP, jedná se o vstup polem třídy `QLineEdit` pomocí zapsání číselné hodnoty.

V modulu jsou také další tři tlačítka z třídy `QPushButton`. V záložkách K a C jsou to tlačítka pro výpočet jednotlivých faktorů ve zvolené vstupní vrstvě a pod záložkami

se nachází tlačítko spouštějící výpočet erozního modelu. Všechny objekty modulu se také přizpůsobují zvolené šířce okna.

5.1.3 Zdrojový kód

Zdrojový kód byl psán v jazyce Python 2.7 (kap. 4.3) ve vývojovém prostředí PyCharm(kap. 4.4), vyvinutém českou společností JetBrains. Dále byl pro testování změn v kódu použit Plugin Reloader, který je stejně jako Plugin Builder součástí oficiálního repositáře QGIS.

5.1.4 Lokalizace

Jelikož byl celý zásuvný modul vyvíjen v angličtině, došlo v poslední fázi k jeho překladu a lokalizaci do češtiny. K tomu byl využit program Qt Linguist.

5.2 Popis struktury kódu

Strukturu kódu lze rozdělit na dvě části – tělo modulu a knihovnu *pyerosion*.

5.2.1 Knihovna pyerosion

Tato knihovna obsahuje modul (python soubor) `erosionbase.py` vycházející z projektu QGIS Erosion plugin[37] a vytvořené moduly `erosionusle.py` a `read_csv.py` obsahující stejnojmenné třídy.

Třída ErosionBase

Tato třída v původní formátu sloužila ke spuštění programu GRASS GIS 7 (kap. 4.2) a nastavení výpočetního prostředí, tedy lokace a mapsetu. Dále byla využita pro import dat do tohoto programu. Tyto funkce byly využity při volání nástrojů GRASS GIS ze zásuvného modulu. Nově byla vytvořena funkce pro export dat, která je uplatněna při exportu výsledků z GRASS GIS zpět do QGIS.

Třída ErosionUSLE

Ve třídě `ErosionUSLE` dědící z `ErosionBase` probíhá veškerý výpočet odehrávající se v prostředí GRASS GIS. K tomu je využito příkaz `run_command` z Python knihovny systému GRASS `grass.script.core`. Podrobný postup je popsán dále v kap. 5.2.4.

Třída ReadCSV

Třída `ReadCSV` slouží ke čtení CSV (comma-separated values) souborů, ve kterých jsou uloženy hodnoty K faktoru pro jednotlivé HPJ(tab. 2.1) a C faktoru pro osevní postupy(tab. 2.2). Tyto soubory jsou uloženy v adresáři `code_tables`.

5.2.2 Tělo zásuvného modulu

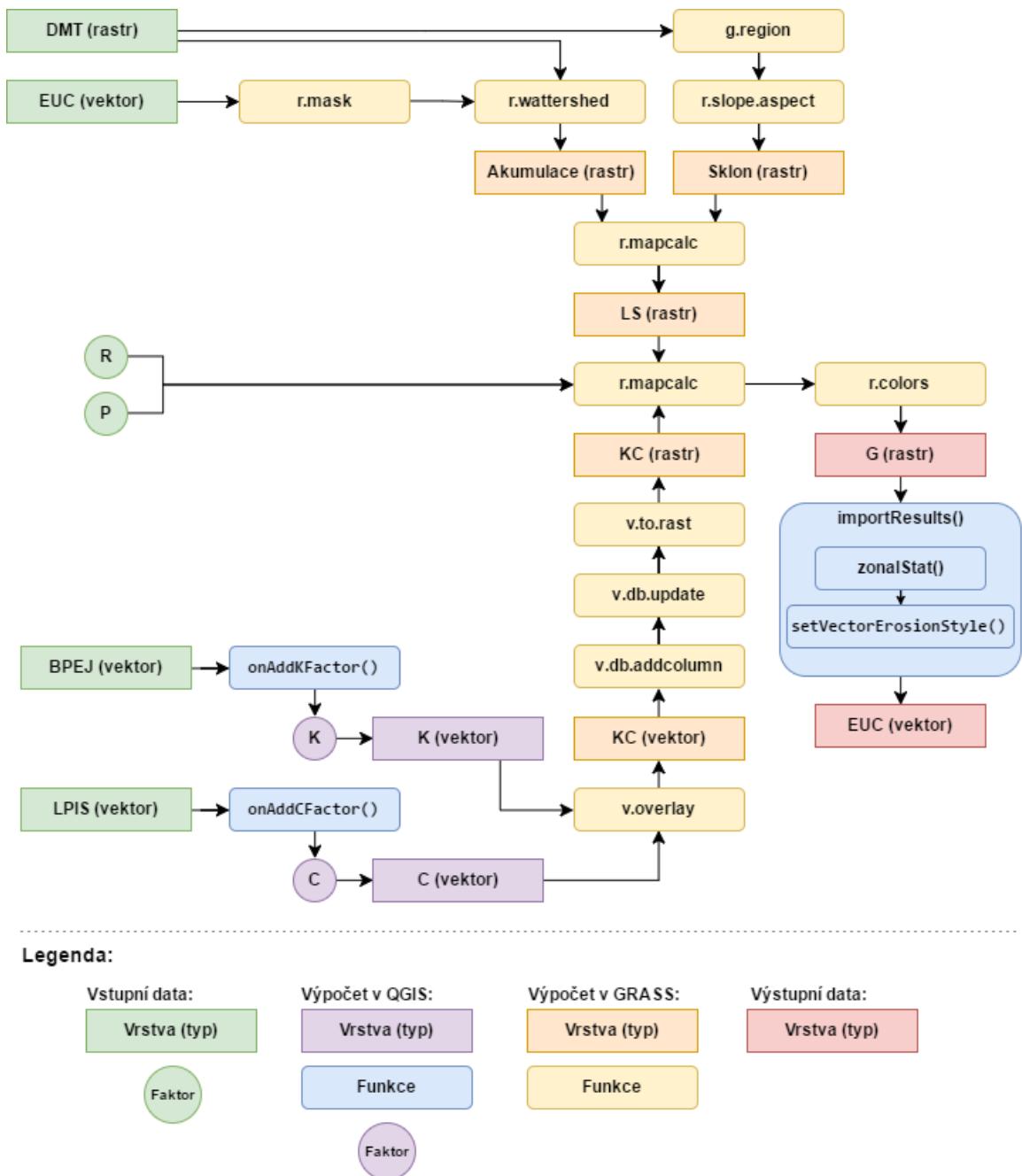
Tělo zásuvného modulu je tvořeno souborem `soil_erosion_dockwidget.py` s hlavní třídou `SoilErosionDockWidget` propojenou s grafickým uživatelským rozhraním umístěným v souboru `soil_erosion_dockwidget_base.ui`. V této třídě jsou definovány funkce pro jednotlivé widgety GUI, import dat a výpočetní část probíhající v QGIS. Jsou zde také definovány chybové hlášení, jež jsou vypsány při nesprávném vstupu či chybě ve výpočtu. V druhé třídě tohoto modulu `ComputeThread` dochází ke spuštění výpočtu v systému GRASS GIS, který probíhá v samostatném výpočetním vlákně a neovlivňuje další funkce QGIS. Během výpočtu jsou pomocí signálů přenášeny zprávy o stavu výpočtu na informační panel QGIS.

Dalšími součástmi těla pluginu jsou soubory:

- `init.py` - Soubor, jež slouží k základní inicializaci pluginu.
- `soil_erosion.py` – Sloužící k zařazení pluginu do prostředí QGIS, jeho spuštění a ukončení.
- `plugin_upload.py` – Soubor pro nahrání pluginu do QGIS repositáře zásuvných modulů.
- `metadata.txt` – Textový soubor obsahující údaje o pluginu.
- `Makefile` – Slouží ke zkompilování `resources.py` nebo dokumentace.
- `resources.py` – Zkompilovaný soubor `resources.qrc`, poskytuje informace o ikoně pluginu.
- `Icon.png` – Ikona pluginu.

5.2.3 Schéma výpočtu

Zde je zobrazeno schéma výpočtu barevně odlišující část probíhající v QGIS od části probíhající v systému GRASS GIS. Postup výpočtu částečně vychází z *Gismen-tors*[34]. Jednotlivé kroky výpočtu jsou rozebrány dále.



Obrázek 5.1: Diagram výpočtu, zdroj: autor

5.2.4 Popis výpočtu v GRASS GIS a použitých modulů

Tato sekce popisuje funkce, vstupy a výstupy použitých modulů, tj. nástrojů systému GRASS GIS.

1. **g.region** – Nastavení výpočetního regionu.
2. **r.slope.aspect** – Výpočet sklonu na základě rastru DMT.
3. **r.mask** – Nastavení masky podle pozemků v zájmovém území. Tedy vrstvy EUC.
4. **r.watershed** – Výpočet akumulace odtoku na základě rastru DMT. (Tato funkce byla upřednostněna před funkcí **r.terraflow** na základě *Metodiky GIS pro navrhování TPEO*[5].)
5. **r.mapcalc** – Pomocí mapové algebry vypočítán faktor LS na základě sklonu, akumulace a rozlišení rastrů dle rovnice 2.12.
6. **v.overlay** – Sjednocení vektorových vrstev LPIS a BPEJ.
7. **v.db.addcolumn** – Přidání sloupce pro faktor KC do sjednocené vrstvy.
8. **v.db.update** – Výpočet hodnot v sloupci KC ze sloupce K, který obsahovala vrstva BPEJ a C, který obsahovala vrstva LPIS.
9. **v.to.rast** – Vytvoření rastru z hodnot sloupce KC.
10. **r.mapcalc** – Pomocí mapové algebry vypočítán výsledný faktor G z rastrů KC, LS a zadaných hodnot R a P.
11. **r.colors** – Nastavení tabulky barev výsledného rastru. (V současné verzi není barevná tabulka rastru přenesena do QGIS, s čímž je pro další vývoj počítáno)

5.2.5 Popis hlavních metod výpočtu v QGIS

V této části jsou popsány nejdůležitější metody třídy `SoilErosionDockWidget`, kterými je implementována část výpočtu odehrávající se v QGIS.

Metoda `onAddKFactor()` Metoda sloužící k přiřazení K faktoru dle HPJ. K tomu je využit soubor `k_factor.csv`, který vznikl na základě tabulky 2.1. Metoda se spustí po kliknutí na tlačítko *Vypočítat K faktor* v záložce *K*.

Pseudokód 1 Přidání K faktoru do atributové tabulky

- 1: **metoda** přidejKfaktor
- 2: načti vrstvu BPEJ
- 3: zkонтroluj zda obsahuje pole BPEJ
- 4: **if** neobsahuje pole K **then**
- 5: přidej pole K
- 6: **end if**
- 7: **for** prvky ve vrstvě BPEJ **do**
- 8: **if** pole BPEJ = 99 **then**
- 9: nastav hodnotu NoData
- 10: **else**
- 11: Nastav hodnotu podle CSV dle čísla HPJ
- 12: **end if**
- 13: **end for**
- 14: Nastav symbologii vrstvy dle K faktoru
- 15: Informuj o dokončení funkce

Metoda `onAddCFactor()` Metoda sloužící k určení C faktoru na základě typu využití půdy a zvoleného osevního postupu pro ornou půdu. Hodnota dle typu využití půdy je určována přímo v kódu, pro hodnoty C faktoru pro osevní postupy je využit soubor `c_factor.csv` vytvořený z tabulky 2.2. Ke spuštění metody dojde stisknutím tlačítka *Vypočítat C faktor* v záložce *C*.

Pseudokód 2 Přidání C faktoru do atributové tabulky

- 1: **metoda** přidejCfaktor
 - 2: načti vrstvu LPIS
 - 3: zkонтrolуй zda obsahuje pole KULTURAKOD
 - 4: Nastav symbologii vrstvy dle typu využití půdy
 - 5: **if** neobsahuje pole C **then**
 - 6: přidej pole C
 - 7: **end if**
 - 8: **for** prvky ve vrstvě LPIS **do**
 - 9: **if** pole KULTURAKOD = T,S,L,V,C **then**
 - 10: nastav hodnotu dle tabulky 3.1
 - 11: **else** pole KULTURAKOD = R
 - 12: Nastav hodnotu podle CSV dle zvoleného osevního postupu
 - 13: **end if**
 - 14: **end for**
 - 15: Informuj o dokončení funkce
-

Metoda importResults() Tato metoda je zavolána po provedení výpočtu v systému GRASS GIS, importuje výsledek zpět do QGIS mapového okna a následně počítá zonální statistikou průměrné hodnoty na jednotlivých erozně uzavřených celcích do nové vrstvy EUC.

Pseudokód 3 Závěrečná část výpočtu probíhající v QGIS

- 1: **metoda** přidejVýsledky
 - 2: přidej rastr vypočtený GRASS na vrchol seznamu vrstev jako *G Faktor*
 - 3: vytvoř vrstvu *EUC* z vrstvy zadáné v poli *EUC*
 - 4: vypočti zonální statistikou průměr do sloupce *G* ve vrstvě *EUC*
 - 5: Nastav symbologii vrstvy dle tabulky 2.3
-

Souřadnicový systém Dále byla řešena kontrola souřadnicového systému (CRS - Coordinate reference system), jelikož hlavní výpočet probíhá v systému GRASS GIS, který vyžaduje pro lokaci (výpočetní prostředí) dodržet jednotný souřadnicový systém všech vrstev. Toho bylo dosaženo spuštěním výpočtu jen v případě, že se CRS zvolených vrstev rovná a zároveň se jedná o souřadnicový systém z datasetu

EPSG (European Petroleum Survey Group), které jsou v systému GRASS GIS definovány. Jelikož jsou tyto podmínky značně striktní, uvažuje se o podpoře uživatelských CRS.

V případě nesouladu je zobrazena chybová hláška a uživatel vyzván k opravě.

5.3 Testovací data

Oblast testovacích dat byla zvolena na základě nutnosti využití vzorových dat z webu ČÚZK[32] pro vytvoření rastru digitálního modelu terénu (kap. 3.3). Pro tento model byly využity data z DMR 5G (kap. 3.3.2). Další vstupní data - BPEJ (kap. 3.1) a LPIS (kap. 3.2) jsou k dispozici volně a jen byly oříznuty podle vytvořeného DMT. Dále byly ve vrstvě LPIS změněny typy pozemků tak, aby měla větší zastoupení orná půda.

Náhled vstupních vrstev je k dispozici v přiloženém manuálu - příloha A.

6 Závěr

Výsledkem této práce je zásuvný modul Soil Erosion pro QGIS, který umožňuje automatizovaný výpočet erozní ohroženosti pomocí rovnice USLE. V současné době jsou výstupem pluginu dvě vrstvy znázorňující lokální erozní smyv a průměrné hodnoty erozního smyvu na daných pozemcích.

Pro vytvoření tohoto modulu bylo nutné, kromě seznámení se s erozní problematikou, i studium použitých technologických nástrojů, především programovacího jazyka Python a softwarů QGIS a GRASS GIS.

Nutno ovšem konstatovat, že vývoj zásuvného modulu v této chvíli není u konce a počítá se s dalším rozšiřováním jeho funkčnosti. Zde je několik cest, kterými by se další vývoj mohl ubírat - regionalizace R faktoru, využití BPEJ z plánované WFS služby či tvorba rastru DMT přímo z dat DMR 4G/5G. V budoucnu je rovněž plánováno zařazení zásuvného modulu do oficiálního QGIS repositáře.

6.1 Licensní podmínky

Zásuvný modul byl vytvořen pod otevřenou licencí GNU/GPL a je volně dostupný z CTU GeoForAll Lab QGIS repositáře. Zdrojové kódy jsou dostupné z repositáře GitHub[38].

Seznam zkratek

BPEJ	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
Bpv	Balt po vyrovnání
CERL	Construction Engineering Research Laboratory (do češtiny se nepřekládá)
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMR	Digitální model reliéfu
DMT	Digitální model terénu
EUC	Erozně uzavřený celek
GIS	Geografický informační systém (anglicky Geographic information system)
GNU/GPL	všeobecná veřejná licence GNU (GNU General Public License)
GUI	Grafické uživatelské rozhraní (Graphical User Interface)
HPJ	Hlavní půdní jednotka
IDE	Vývojové prostředí (Integrated Development Environment)
LPIS	Registr půdy (Land Parcel Identification System)
MUSLE	Modifikovaná univerzální rovnice ztráty půdy (Modified universal Soil Loss Equation)
RUSLE	Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy (Revised universal Soil Loss Equation)
TIN	Nepravidelná trojúhelníková síť (Triangulated Irregular Network)
USLE	Univerzální rovnice ztráty půdy (Universal Soil Loss Equation)
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
WFS	Web Feature Service (do češtiny se nepřekládá)

Literatura

- [1] BEER, Brent a BELL, Peter. *Introducing GitHub: A Non-Technical Guide.* Newton, Massachusetts, USA: O'Reilly Media, 2017. ISBN 9781783551316.
- [2] BONNIFIELD, Mathew Paul. *The Dust Bowl.* Albuquerque: University of New Mexico Press, 1st ed. edition, 1979. ISBN 0826304850.
- [3] BROWNING, G.M.; PARISH, C.L. a GLASS, J. Method for determining the use of limitations of rotation and conservation practices in the control of soil erosion in Iowa. *Journal of the American Society of agronomy.* 1947.
- [4] CHROBOCZEK, Martin. *Grafická uživatelská rozhraní v Qt a C++.* Brno: Computer Press, 2013. ISBN 9788025141243.
- [5] DOSTÁL, Tomáš. *Využití dat a nástrojů GIS a simulačních modelů k navrhování TPEO.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 1. vyd. edition, 2014. ISBN 9788087361306.
- [6] EGAN, Timothy. *The Worst Hard Time.* Boston, New York: Houghton Mifflin Company, 1st ed. edition, 2006. ISBN 978-0-618-77347-3.
- [7] HOLÝ, Miloš. *Eroze a životní prostředí.* Praha: České vysoké učení technické, 1. vyd. edition, 1994. ISBN 8001010783.
- [8] ISLAM, Quazi Nafiul. *Mastering PyCharm.* Brno: Packt, 2015. ISBN 9781783551316.
- [9] JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí.* Praha: ČZU, 1. vyd. edition, 2012. ISBN 9788087415429.
- [10] KADLEC, Václav. *Navrhování technických protierozních opatření.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 1. vyd. edition, 2014. ISBN 9788087361290.
- [11] KRÁSA, Josef. *Empirické modely vodní eroze v ČR.* Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2010.
- [12] LUTZ, Mark a ASCHER, David. *Learning Python.* Sebastopol: O'Reilly and Associates, Inc., 2009. ISBN 9788184048261.

- [13] MENKE, Kurt et al. *Mastering QGIS*. Birmingham: Packt Publishing, 2015. ISBN 9781784398682.
- [14] MITASOVA, H. et al. *Multidimensional soil erosion/deposition modeling and visualization using GIS*. Urbana, Illinois: Geographic Modeling and Systems Laboratory, University of Illinois at Urbana-Champaign, for U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories, 1998.
- [15] MUSGRAVE, G.W. The Quantitative Evaluation of Factors in Water Erosion. *Journal Of Soil And Conservation*. 1947, 2, č. 2, s. 133–138.
- [16] NETELER, Markus a MITASOVA, Helena. *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach*. New York, USA: Springer, 2008. ISBN 9780387357676.
- [17] NĚMEČEK, Jan. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. Praha: Česká zemědělská univerzita, vyd. 1. edition, 2001. ISBN 8023880616.
- [18] NOVOTNÝ, Ivan. *Příručka ochrany proti vodní erozi*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2., aktualiz. vyd. edition, 2014. ISBN 9788087361337.
- [19] NOVOTNÝ, Ivan a VOPRAVIL, Jan. *Metodika mapování a aktualizace bonitovaných půdně ekologických jednotek*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 4., přeprac. a dopl. vyd. edition, 2013. ISBN 9788087361214.
- [20] PILGRIM, Mark. *Dive Into Python*. Apex: Apress, 2004. ISBN 9781590593561.
- [21] RENARD, K.G. et al. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. 703. Washington, DC: US Government Printing Office, 1997.
- [22] SMITH, D.D. Interpretation of Soil Conservation Datafor Field Use. *Agricultural Engineering*. 1941, 22, č. 5, s. 173–175.
- [23] SUMMERFIELD, Mark. *Rapid GUI Programming with Python and Qt: The Definitive Guide to PyQt Programming*. New Jersey: Prentice Hall, 2015. ISBN 9780134393339.
- [24] WILLIAMS, J.R. Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor. *U.S. Dept. Agric.* 1975, ARS-S-40, s. 244–252. Dostupné z: <http://mfkp.org/INRMM/article/13481135>.

- [25] WISCHMEIER, W.H. A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil-Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal.* 1959, vol. 23, č. issue 3, s. 246–. ISSN 03615995. doi: 10.2136/sssaj1959.03615995002300030027x. Dostupné z: <https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/23/3/SS0230030246>.
- [26] WISCHMEIER, W.H. a SMITH, D.D. *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning.* Agriculture handbook no. 537. USA: Science and Education Administration, U.S. Department of Agriculture, 1978. Dostupné z: https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/50201000/USLEDatabase/AH_537.pdf.
- [27] ZINGG, A.W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in run-off. *Agricultural engineering.* 1940, 22, s. 59–64.
- [28] Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky - pracoviště Střední Čechy [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/ochrana-prirodnych-vodnich-toku/ochrana-prirodnych-potoku>.
- [29] Atlas DMT Eroze [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://atlasltd.cz/eroze.html>.
- [30] eKatalog BPEJ [online]. VÚMOP. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://bpej.vumop.cz>.
- [31] Geoportál SOWAC GIS [online]. VÚMOP. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://geoportal.vumop.cz/>.
- [32] Geoportál ČÚZK [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/>.
- [33] Gismentors - Tvorba DMR a DMT [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://training.gismentors.eu/grass-gis-pokrocily/lidar/dmr-dmp-cuzk.html>.
- [34] Gismentors - Vypočet USLE pomocí GRASS GIS [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://training.gismentors.eu/grass-gis-pokrocily/hydrologie/usle.html>.

- [35] *GIS Stack Exchange* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://gis.stackexchange.com>.
- [36] *GitHub* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://github.com>.
- [37] *Projekt Erosion Plugin na GitHub* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://github.com/ctu-geoforall-lab-sandbox/qgis-erosion-plugin-wps>.
- [38] *Projekt Soil Erosion Plugin na GitHub* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://github.com/ctu-geoforall-lab-projects/bp-novotny-2017>.
- [39] *Protierozní kalkulačka* [online]. VÚMOP. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://kalkulacka.vumop.cz>.
- [40] *QGIS User DiscussionList* [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <https://lists.osgeo.org/mailman/listinfo/qgis-user>.
- [41] *Registr půdy LPIS* [online]. eAGRI. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/farmar/LPIS/>.
- [42] *Státní pozemkový úřad České republiky* [online]. SPÚ ČR. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.spucr.cz/bpej/celostatni-databaze-bpej>.
- [43] *United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.ars.usda.gov/midwest-area/west-lafayette-in/national-soil-erosion-research/docs/usle-database/usle-history>.
- [44] *Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.a* [online]. VÚMOP. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.vumop.cz>.
- [45] *Wikimedia Commons* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org>.

A Uživatelský manuál

A.1 O pluginu Soil Erosion

Zásuvný modul Soil Erosion slouží pro výpočet a prezentaci erozního smyvu na orné půdě.

Vstupem jsou vektorové vrstvy Bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ)⁷, Registru půd (LPIS)⁸ a rastrová vrstva digitálního modelu terénu.

Výstupem je rastrová vrstva znázorňující lokální hodnotu smyvu a vektorová vrstva obsahující výsledné hodnoty průměrné dlouhodobé ztráty půdy pro definované erozně uzavřené celky.

Zásuvný modul je pod licencí GNU/GPL.

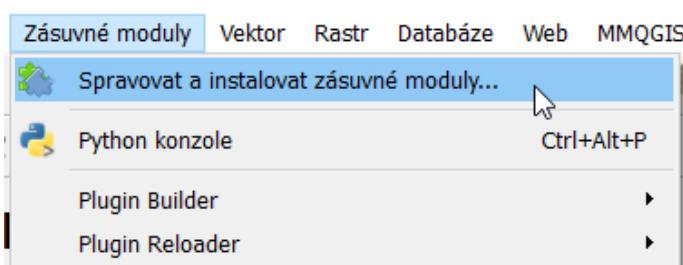
Případné chyby a nápady na vylepšení zásuvného modulu, prosím, pište na stránku pluginu⁹.

A.2 Instalace

Zásuvný modul *Soil Erosion* je v současnosti veden jako „Experimentální“ a není zařazen do oficiálního repositáře QGIS. Jedinou odlišností od instalace jiných zásuvných modulů je nutnost přidání repositáře laboratoře *CTU GeoForAll Lab*, ve kterém je plugin *Soil Erosion* umístěn.

A.2.1 Přidání repositáře *CTU GeoForAll Lab*

Zásuvné moduly → *Spravovat a instalovat zásuvné moduly...*



Obrázek A.1: Otevření okna *Zásuvné moduly*, zdroj: autor

⁷<http://www.spucr.cz/bpej/celostatni-databaze-bpej>

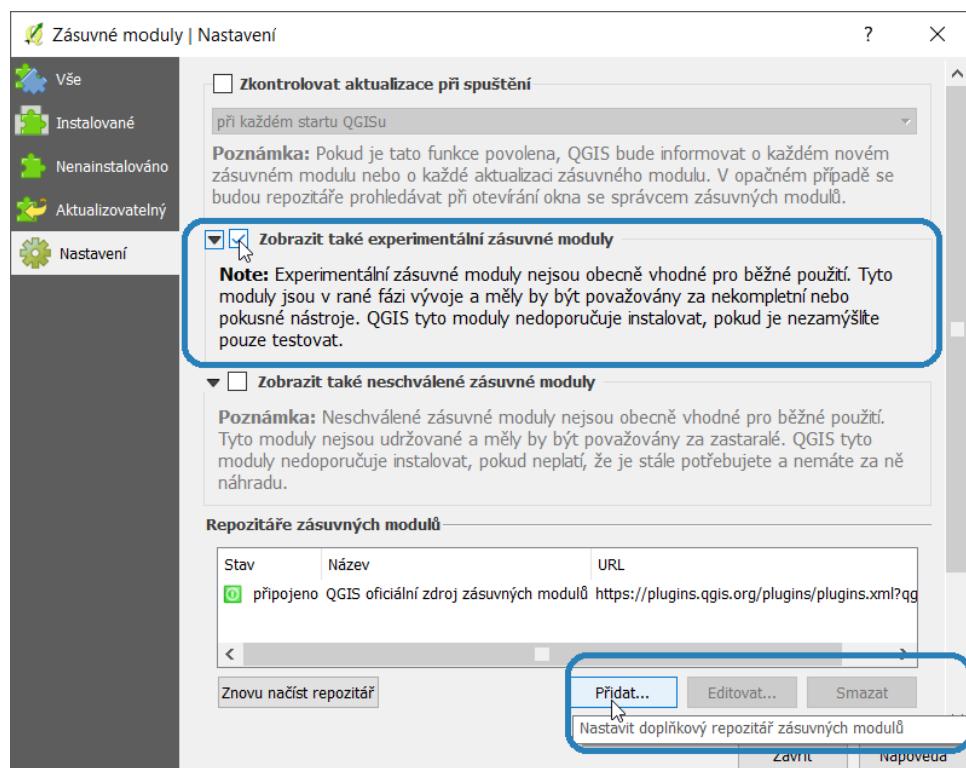
⁸<http://eagri.cz/public/app/eagriapp/lpisdata/>

⁹<https://github.com/ctu-geoforall-lab-projects/bp-novotny-2017/issues>

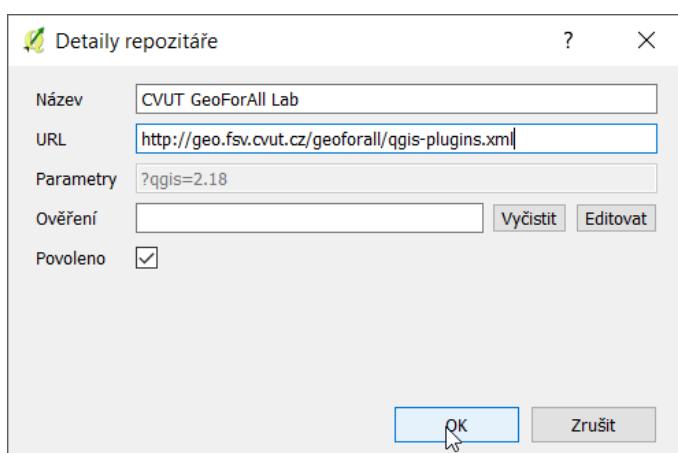
V záložce *Nastavení* zkонтrolujte, zda je volba *Zobrazit také experimentální zásuvné moduly* aktivní.

Kliknutím na tlačítko *Přidat...* připojíme repositář laboratoře *CTU GeoForAll Lab*¹⁰

1 <http://geo.fsv.cvut.cz/geoforall/qgis-plugins.xml>



Obrázek A.2: Aktivování experimentálních zásuvných modulů a přidání repozitáře, zdroj: autor

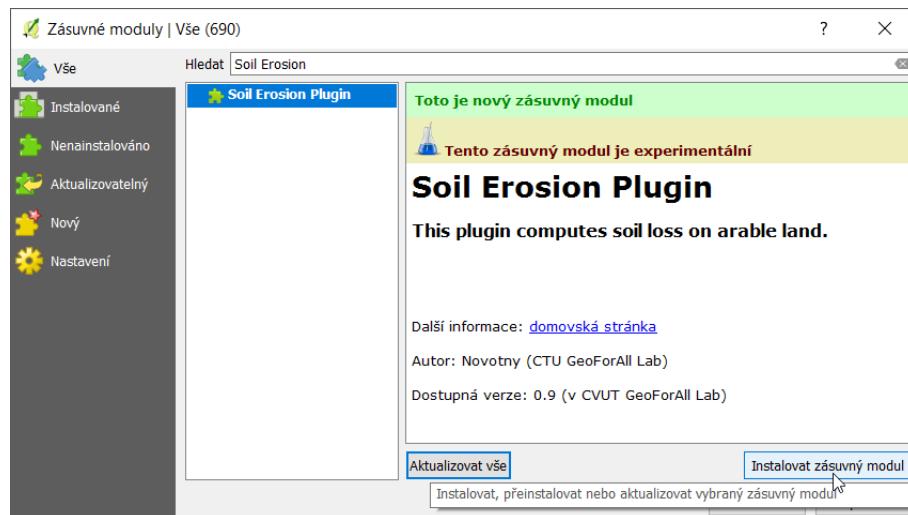


Obrázek A.3: Přidání repozitáře CTU GeoForAll Lab, zdroj: autor

¹⁰<http://geomatics.fsv.cvut.cz/research/geoforall>

A.2.2 Instalace zásuvného modulu *Soil Erosion*

Po připojení repositáře vyhledejte *Soil Erosion Plugin*, buďto v záložce *Vše* nebo *Nenainstalované*. Po výběru zásuvného modulu klikněte na *Instalovat zásuvný modul*.

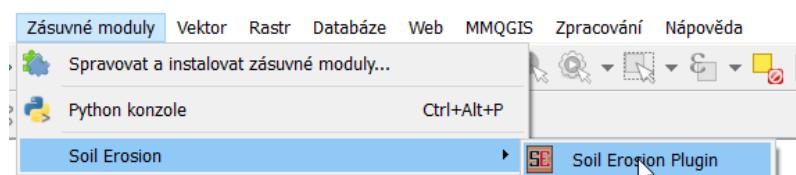


Obrázek A.4: Instalace zásuvného modulu, zdroj: autor

Po úspěšném nainstalování se v *Panelu nástrojů Zásuvné moduly* objeví jeho ikona. Zásuvný modul je možné spustit kliknutím na jeho ikonu nebo z menu *Zásuvné moduly* → *Soil Erosion* → *Soil Erosion Plugin*.



Obrázek A.5: Ikona zásuvného modulu v panelu nástrojů, zdroj: autor



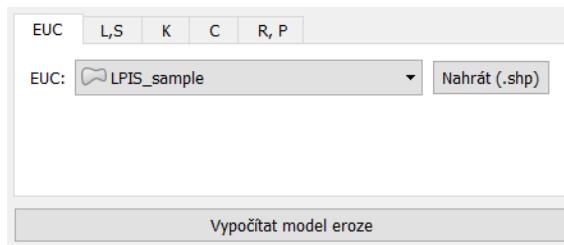
Obrázek A.6: Ikona zásuvného modulu v menu, zdroj: autor

A.3 Návod k použití

Pro vytvoření erozního modelu je nutné vyplnění pěti záložek, ve kterých jsou definovány pozemky, na kterých bude výpočet probíhat (EUC), a voleny vstupy pro určení faktorů v rovnici USLE (LS, K, C a RP).

A.3.1 EUC

Určení erozně uzavřených celků (pozemků), pro které bude určována průměrná roční ztráta, probíhá v záložce EUC.



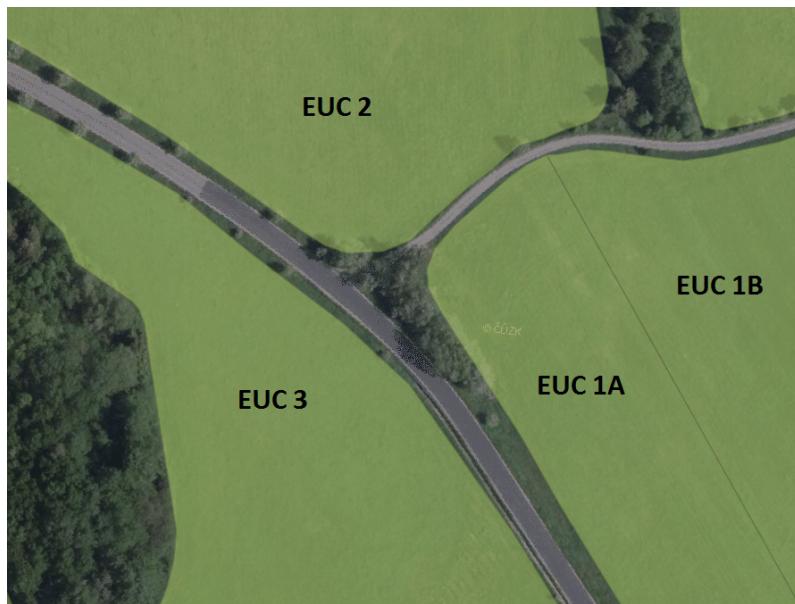
Obrázek A.7: Záložka EUC, zdroj: autor

Zde se volí polygonová vektorová vrstva (.shp) definující EUC. Vrstvu je možné zvolit ze seznamu vrstev, či ji nahrát přes tlačítko *Nahrát (.shp)*.

Tato vrstva většinou vychází z vrstvy LPIS, ovšem je rovněž možné volit svou vlastní vrstvu. Ovšem při zvolení vlastní vrstvy je potřeba dát pozor, aby na většině plochy EUC byly definovány faktory K a C.

Poznámka: Při využití vrstvy LPIS je pro správnou funkčnost výpočtu doporučeno zkontolovat návaznosti polygonů. Zda v místech, kde se jedná o jeden EUC rozdelený mezi několik vlastníků (uživatelů), na sebe polygony navazují (případně se překrývají). (EUC 1A a EUC 1B).

Naopak v místech, kde jsou pozemky erozně odděleny technickým protierozním opatřením či silnicí, musí být mezi jednotlivými polygony mezera. (EUC 2 a EUC 3).

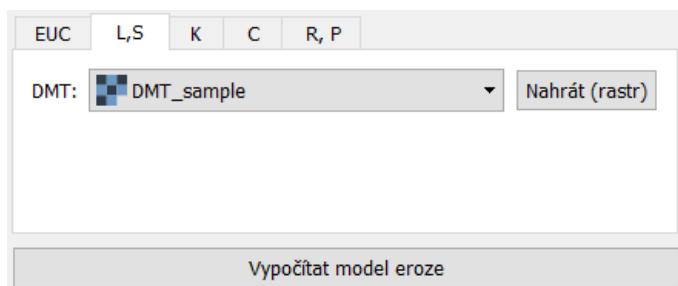


Obrázek A.8: Zobrazení EUC se zahrnutými překážkami, zdroj: autor

Pro základní kontrolu je vhodné využití ortofota.

A.3.2 L,S

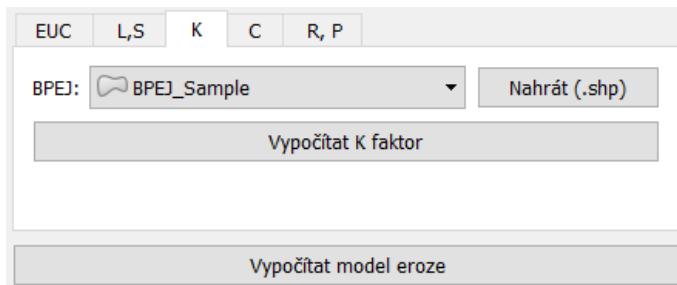
V záložce L,S se určuje rastr digitálního modelu terénu, nad kterým bude probíhat výpočet faktorů délky a sklonu svahu (L, S). Vrstvu je možné zvolit ze seznamu vrstev, či ji nahrát přes tlačítko *Nahrát (rastr)*.



Obrázek A.9: Záložka L,S, zdroj: autor

A.3.3 K

V záložce K se volí polygonová vektorová vrstva (.shp) BPEJ. Vrstva musí obsahovat pole s názvem „BPEJ“ ve formátu „X.XX.XX“, ze kterého se pomocí tlačítka *Vypočítat K faktor*, vypočte hodnota K a vrstva se dle jeho hodnoty barevně rozliší. Případně je možné použít vrstvu s předem vypočteným K faktorem v poli K. Vrstvu je možné zvolit ze seznamu vrstev, či ji nahrát přes tlačítko *Nahrát (.shp)*.

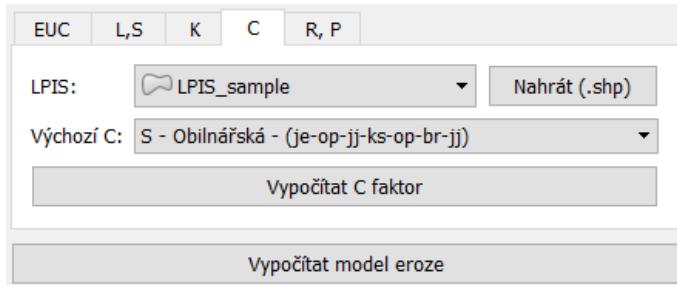


Obrázek A.10: Záložka K, zdroj: autor

Tip: Hodnoty K lze poté manuálně upravovat v atributové tabulce (stejně lze upravovat i hodnoty C)

A.3.4 C

Záložka C slouží ke zvolení polygonové vektorové vrstvy (.shp) LPIS. Vrstva musí obsahovat pole s názvem „KULTURAKOD“ s jednoznakovým kódem pro využití pozemku. V rolovací nabídce se volí primární osevní postup užívaný na pozemcích s ornou půdou. Poté se C faktor nastaví kliknutím na tlačítko *Vypočítat C faktor*, přičemž současně dojde k barevnému rozlišení dle využití pozemku.



Obrázek A.11: Záložka C, zdroj: autor

Poznámka: Při využití dat LPIS vyexportovaných z Registra půd (LPIS)¹¹ a BPEJ¹² z celostátní databáze, jejich formát odpovídá požadavkům zásuvného modulu.

Tip: Hodnoty C lze poté manuálně upravovat v atributové tabulce (stejně lze upravovat i hodnoty K)

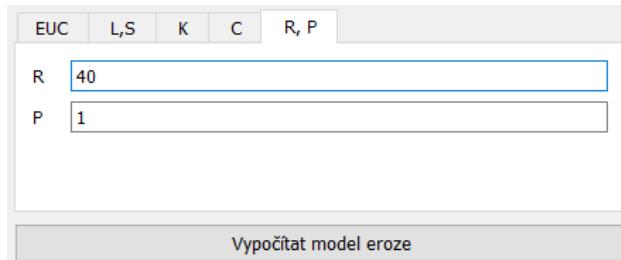
A.3.5 R,P

V poslední záložce *R,P* je možné upravit hodnotu faktoru přívalového deště *R* pro danou oblast. Tato hodnota je nastavena na 40, což je průměrná hodnota

¹¹<http://eagri.cz/public/app/eagriapp/lpisdata/>

¹²<http://www.spucr.cz/bpej/celostatni-databaze-bpej>

pro ČR. Dále pak hodnotu faktoru protierozních opatření P , ta je nastavena na 1 (= Nejsou použita žádná agrotechnická protierozní opatření.)



Obrázek A.12: Záložka RP, zdroj: autor

A.3.6 Výpočet erozního modelu

Po nastavení všech vstupních hodnot se stisknutím tlačítka provede výpočet erozního modelu. Tlačítko je viditelné ze všech záložek. Po spuštění výpočtu jsou zobrazovány informace o jeho průběhu pomocí panelu v horní části QGIS. Z tohoto panelu je také možné výpočet ukončit pomocí tlačítka *Zrušit výpočet*.



Obrázek A.13: Informační panel, zdroj: autor

A.3.7 Erozní model

Po skončení výpočtu se do mapového okna na první a druhé místo v seznamu vrstev přidají vrstvy erozního modelu - *EUC* a *Lokální eroze*. Ukázkou těchto vrstev je možné najít v popisu ukázkového výpočtu.

- Erozní model: Vektorová polygonová vrstva *EUC* je vytvořená z vrstvy zadané v záložce EUC. Do atributové tabulky této vrstvy je přidán nový sloupec G s hodnotou průměrné roční ztráty půdy pro jednotlivé pozemky, tyto pozemky jsou rovněžobarveny dle tabulky ohrožení půdy.

- G faktor: Rastrová vrstva zobrazující lokální hodnoty eroze ve stupních šedi.

Při spuštění nového výpočtu se vytvořené vrstvy nahradí novými.

A.4 Ukázkový výpočet

A.4.1 Vzorová data

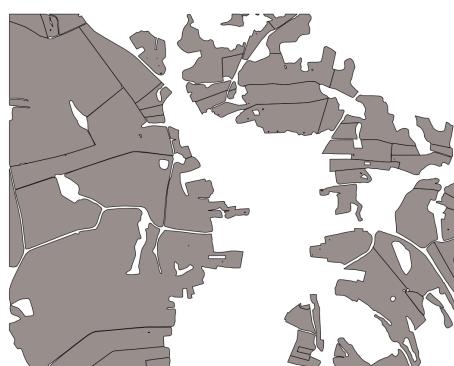
Pro ukázkový výpočet jsou použita vzorová data umístěná v GitHub repositáři¹³. Ta obsahuje 3 vrstvy *DMT_sample*, *BPEJ_Sample* a *LPIS_Sample*.



Obrázek A.14: Vrstva DMT_sample, zdroj: autor



Obrázek A.15: Vrstva BPEJ_sample, zdroj: autor

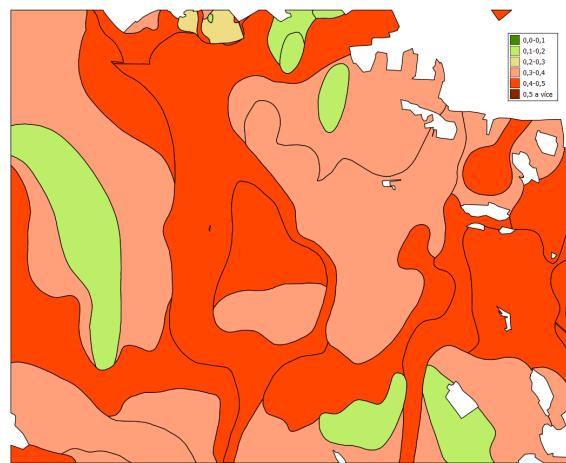


Obrázek A.16: Vrstva LPIS_sample, zdroj: autor

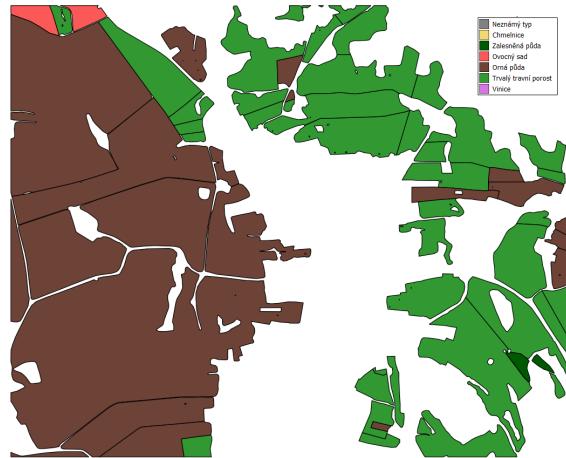
¹³https://github.com/ctu-geoforall-lab-projects/bp-novotny-2017/raw/master/sample_data/erosion-sample-data.zip

A.4.2 Nastavení vstupů a výpočet

Nastavení vstupních hodnot se provede podle obecného návodu, kdy se jako EUC vrstva zvolí LPIS_sample, v následujících záložkách názvy požadovaných vrstev odpovídají jménu vzorových dat. Po výpočtu faktorů K a C v daných záložkách se vrstvy obarví.



Obrázek A.17: Vrstva BPEJ_sample po výpočtu K faktoru, zdroj: autor



Obrázek A.18: Vrstva LPIS po výpočtu C faktoru, zdroj: autor

V poslední záložce R, P jsou ponechány výchozí hodnoty a plugin je spuštěn.

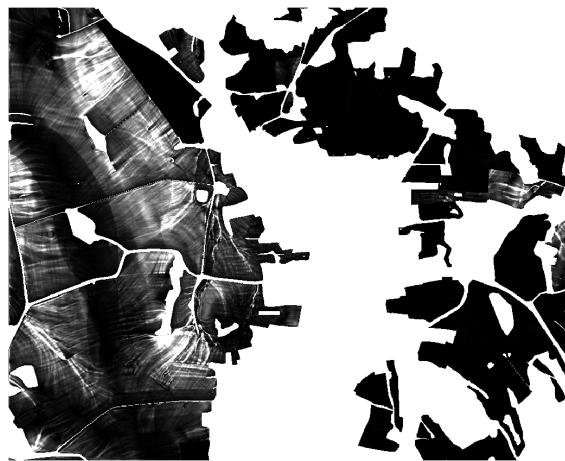
A.4.3 Výsledný model

Výsledkem výpočtu by měly být následující vrstvy:



Obrázek A.19: Vrstva EUC, zdroj: autor

Poznámka: Výsledná vrstva EUC je jednolitá z důvodu nízké erozní ohroženosti oblasti. Tato oblast ovšem musela být vybrána z důvodu využití vzorových (volně šířitelných) dat DMT z DMR 5G.



Obrázek A.20: Vrstva G faktor, zdroj: autor