

Problematika výpočtu Univerzálnej rovnice straty pôdy v prostredí QGIS

Aneta Šedivá, Milica Aleksić

Abstrakt

Univerzálna rovnica straty pôdy je najznámejšou rovnicou pre výpočet odnosu pôdy odvodená Wischmeierom a Smithom (1978). Hlavný účel rovnice straty pôdy je usmerniť metodické rozhodnutia pri plánovaní ochrany územia. Úvodnou časťou práce je metóda výpočtu Univerzálnej rovnice straty pôdy v prostredí QGIS, kde prišlo k nezrovnalostiam vo výpočtoch. Cieľom tejto práce je oboznámenie sa s možnými problémami, ktoré môžu vzniknúť pri výpočtoch a použití rôznych nástrojov v open-source softvéri ako je QGIS.

Kľúčové slová: Univerzálna rovnica straty pôdy, QGIS, raster, open-source softvér

Abstract

The Universal Soil Loss Equation is the most famous equation for the calculation of land derived by Wischmeier and Smith (1978). The main purpose of the Universal Soil Loss Equation is to guide the methodological decisions in the planning of the protection of the territory. The initial part of the paper is a method of calculating the Universal equation of Soil Loss in the QGIS environment, where the incorrect result has occurred. The aim of this work is to familiarize with possible problems that can arise when calculations and use of various tools in Open-Source Software such as QGIS.

Keywords: The Universal Soil Loss Equation, QGIS, raster, Open-Source software

1 Úvod

Na Slovensku sa pre pôdno-klimatické podmienky najčastejšie vyskytuje vodná erózia pôdy, ktorá má nežiaduci efekt pre život. Je to jedna z najväčších environmentálnych hrozieb (Stankoviansky et al. 2010). Aj keď pôdna erózia je prirodzený proces, ktorý sa prejavuje zmenami fyzikálnych, chemických a biologických vlastností pôdy, častokrát môže za vznik sám človek. A to nesprávnym obhospodarovaním a nevhodnými úpravami (Petlušová et al. 2016). Najznámejšou a zároveň najpoužívanejšou rovnicou pre predikciu odnosu pôdy je Univerzálna rovnica straty pôdy odvodená Wischmeierom a Smithom (1978). Rovnica umožňuje plánovačovi predpovedať priemernú mieru znečistenia pôdy pre každú kombináciu systému plodín, postupov hospodárenia a kontrolných postupov a opatrení (Wischmeier a Smith 1978). Univerzálna rovnica straty pôdy sa označuje nasledujúcim vzorcom:

$$G = R * K * L * S * C * P, \quad (1)$$

kde:

G – priemerná ročná straty pôdy (t.ha⁻¹.rok⁻¹),

R – faktor eróznej účinnosti dažďa (erozivita dažďa), ktorý je definovaný ako súčin energie dažďa a jeho maximálnej 30-minútovej intenzity (MJ.ha⁻¹cm.h⁻¹),

K – faktor náchylnosti pôdy na eróziu (erodovateľnosť pôdy) je ovplyvnený základnými pôdnymi parametrami ako sú zrnitosť, štruktúra pôdy, obsah organickej hmoty, priepustnosť (permeabilita) (t. ha-1rok-1),

L – faktor neprerušenej dĺžky svahu vyjadruje pomer straty pôdy z plochy určitej dĺžky ku strate pôdy z plochy so štandardnou dĺžkou 22,13m. (-),

S – faktor sklonu svahu vyjadruje pomer straty pôdy z plochy s určitým sklonom ku strate pôdy z plochy so štandardným sklonom 9% (-),

C – faktor ochranného vplyvu vegetačného krytu vyjadruje vplyv vegetácie a použitej agrotechniky na intenzitu erózie (-),

P – faktor účinnosti protieróznych opatrení je vyjadrený pomerom straty pôdnej hmoty obhospodarovanej pozdĺž vrstevníc (vrstevnicová agrotechnika) a štandardnou orbou (pri tvorbe interaktívneho modelu nebol zohľadnený) (-).

Pre výpočet Univerzálnej rovnice straty pôdy bol zvolený open-source softvér QGIS. QGIS je profesionálna aplikácia geografického informačného systému, ktorá je riadená dobrovoľníkmi a dobrovoľníckymi firmami. Vďaka týmto ľuďom sa vývoj softvéru neustále posúva vpred. QGIS poskytuje neustále rastúci počet možností poskytovaných základnými funkciami a doplnkami, podporuje množstvo vektorových, rastrových a databázových formátov a funkcií. Preto je QGIS vhodný pre používanie vo verejnom aj súkromnom sektore. V softvéri je možné pracovať v rôznych súradnicových systémoch. Pre Slovensko je možné použiť viac súradnicových systémov. Pre túto prácu bol zvolený súradnicový systém S-JTSK (JTSK) Křovak East North s EPSG:5514.

2 Metóda výpočtu Univerzálnej rovnice straty pôdy

Výpočet rovnice pozostáva z výpočtov jednotlivých faktorov (R, K, L, S, C, P). Všetky výpočty boli pre riešené územie nachádzajúce sa na západnom Slovensku, v katastri obce Radošovce, ktorá patrí do Trnavského kraja a okresu Skalica. Riešené územie sa nachádza v nadmorskej výške od 245 – 305 m. n. m. Oblasť sa nachádza v extraviláne obce a toto územie je využívané pre rastlinnú výrobu alebo je dočasne nevyužívané. Pre výpočet bol použitý digitálny model reliéfu s priestorovým rozlíšením 1x1 m. Pre porovnanie výsledkov rovnice boli použité dve metódy výpočtu R-faktora. Prvá metóda je od autorov M. Onderka a J. Pecho, ktorých pozorovania sú z dlhšieho časového obdobia – 1961 až 2009. Druhá metóda je určenie hodnoty R-faktora podľa autora F. Alena z roku 1991.

Vstupné dáta pre výpočet R-faktora môžu byť podľa rôznych autorov a z rôznych časových období. Pre tento výpočet boli zvolené vstupné dáta od autorov M. Onderka a J. Pecho. Na základe ich pozorovaní a aktualizácií dát z časového obdobia od roku 1961 až 2009 boli vybrané 3 lokality najbližšie k riešenému územiu so známymi hodnotami eróznej účinnosti dažďa (Onderka a Pecho 2019). Na základe vstupných dát bola vytvorená vektorová bodová vrstva. Pre získanie hodnoty R-faktora pre riešené územie bola použitá interpolačná metóda IDW (Inverse Distance Weighting). Zo získanej vrstvy interpoláciou a vektorovej vrstvy polygónu územia bola pomocou nástroja „Clip raster by mask“ dosiahnutá nová rastrová vrstva s hodnotami R-faktora pre riešené územie.

Hodnota R-faktora podľa autora F. Alena bola vybraná podľa lokalizácie riešeného územia, ktorej na základe mapy prislúcha konkrétna hodnota 28 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹. Na základe tohto údaju bola vytvorená nová rastrová vrstva pre riešené územie s hodnotou 28 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ (Alena 1991).

Pre výpočet K-faktora bolo potrebné získanie hraníc BPEJ. Hranice BPEJ boli exportované z mapovej služby na webovom portáli Pôdny portál (Pôdny portál, 2021) ako ortofotomapa vo formáte JPEG, ktorá bola následne georeferencovaná pre súradnicový referenčný systém S-JTSK s EPSG:5514. Z informačného servisu VÚPOP cez ponúkanú mapovú službu pre bonitované pôdno-ekologické jednotky (BPEJ) boli získané hodnoty 7-miestneho kódu BPEJ. Pre získanie hodnoty K-faktora treba prihliadať na 3. a 4. číslo kódu. V riešenom území sa nachádza 5 rôznych kódov, pre ktoré boli hodnoty K-faktora prevzaté od autorky (Štefunková 2020). Kódy BPEJ a prislúchajúce hodnoty K-faktora sú zobrazené v Tabuľke 1. Na základe hraníc BPEJ bola vytvorená vektorová polygónová vrstva s príslušnými hodnotami K-faktora. Vektorová vrstva bola rasterizovaná pre veľkosť pixelov 1x1 m a následne orezaná nástrojom „Clip raster by mask“ s použitím vektorovej polygónovej vrstvy riešeného územia.

Tabuľka 1: Vyjadrenie K-faktora z kódov BPEJ

Kód BPEJ	3. a 4. číslo kódu	K-faktor
0247402	47	0,72
0248002	48	0,22
0254672	54	0,51
0765232	65	0,41
0765432	65	0,41
0787245	87	0,39

Pre výpočet faktora dĺžky svahu (L-faktor) bol použitý digitálny model reliéfu a vektorová vrstva hraníc riešeného územia. Pomocou vrstevníc a vytvorením odtokovej čiary kolmej na vrstevnice bola získaná neprerušená dĺžka svahu (d), ktorá je potrebná pre výpočet faktora. Hodnota exponenta (m) vstupujúci do rovnice bola vybraná hodnota $m = 0,5$. Hodnoty vstupujúce do rovnice a výsledok sú uvedené v Tabuľke 2.

$$L = (d/22,13)^m, \quad (2)$$

kde:

d – neprerušená dĺžka svahu,

m – exponent, závisí od sklonu (0, 1 – 0,5); $m = 0,5$.

Tabuľka 2: Hodnoty výsledkov L-faktora

Veľkosť rastra [m]	d [m]	m [-]	L [-]
1x1	1122.59	0,5	7,12

Pre výpočet S-faktora bol použitý vzorec podľa autorov Wischemeier a Smith:

$$S = (0,43 + 0,3 * s + 0,043 * s^2) / 6,613, \quad (3)$$

kde:

s – sklon svahu v %

Pre výpočet sklonu svahu v percentuálnom vyjadrení (s) bola použitá funkcia “Slope” na rastrovej vrstve digitálneho modelu reliéfu. Následne orezaný pomocou nástroja „Clip raster by mask“ s použitím vektorovej polygóbovej vrstvy riešeného územia. Pre výpočet faktora bol použitý nástroj “Raster Calculator”.

Hodnota faktora ochranného vplyvu vegetácie (C-faktor) bola zvolená podľa autora (Alena 1991) z tabuľky hodnôt pre jednotlivé plodiny. Vybraná plodina bola pšenica ozimná, ktorej prislúchajúca hodnota je $C = 0,12$. Pre časti územia, kde sa už nachádza existujúca vegetácia bola zvolená hodnota $C = 0$.

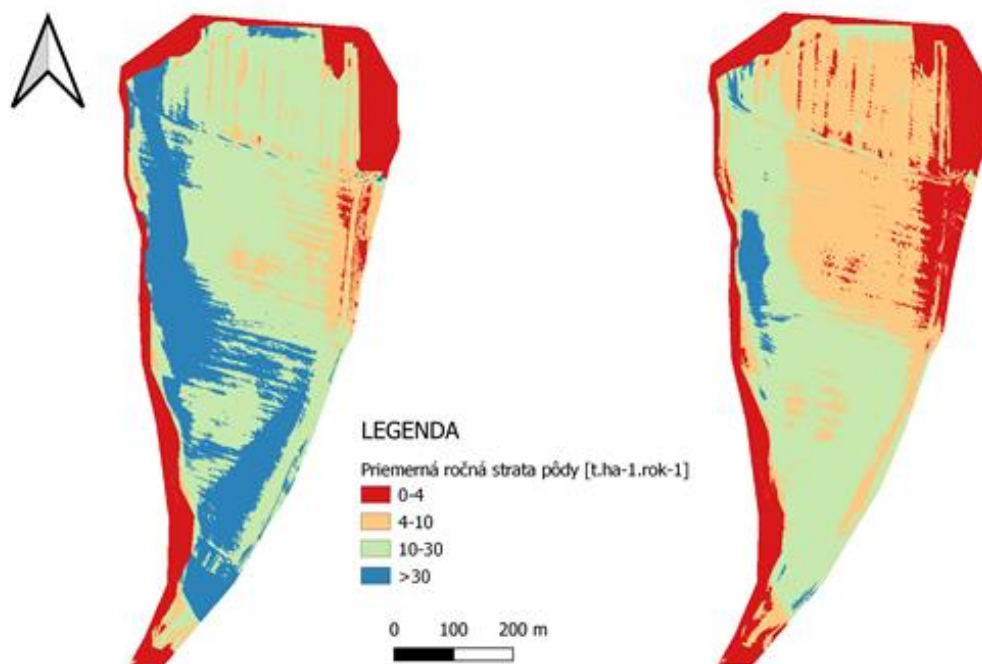
Keďže je predpoklad, že na tomto území nie sú stanovené žiadne protierózne opatrenia, ako faktor účinnosti protieróznych opatrení bola zvolená hodnota $P = 1$. V práci sa táto hodnota bežne používa, ak nie sú stanovené protierózne opatrenia. Vytvorená bola nová rastrová vrstva s hodnotou 1 pre celé územie.

Výsledky výpočtov Univerzálnej rovnice straty pôdy

Výsledkom boli dosiahnuté dva výpočty Univerzálnej rovnice straty pôdy a to podľa autorov M. Onderka, J. Pecho a autora F. Alena. Pre výpočet rovníc boli faktory K, L, S, C, P použité podľa vyššie uvedených postupov. Mienený bol iba faktor R podľa vybraných autorov. Na základe výpočtov rovnice straty pôdy je určená miera erodovateľnosti podľa hraničných hodnôt kategórií erodovateľnosti poľnohospodárskych pôd, ktoré sú uvedené na webovom portáli Pôdny portál (Pôdny portál, 2021) poskytované Výskumným ústavom pôdozvedectva a ochrany pôdy. Tieto hraničné hodnoty sú uvedené v zákone 220/2004. Pre porovnanie výsledkov oboch metód výpočtu bola použitá štatistická funkcia „Raster layer unique values report“. V Tabuľke 3 sa nachádza porovnanie výsledkov výpočtov rovnice podľa autorov M. Onderka, J. Pecho a autora F. Alena. Na Obrázku 1 sú zobrazené mapové výstupy priemernej ročne straty pôdy podľa autorov M. Onderka, J. Pecho a autora F. Alena. Výmera vektorovej vrstvy polygónu územia je 32,89 ha.

Tabuľka 3: Štatistika pôvodných výsledkov Univerzálnej rovnice straty pôdy pre veľkosť rastra 1x1 m

Veľkosť pixelov 1x1 m, hodnota R-faktora podľa autorov M. Onderka, J. Pecho						Veľkosť pixelov 1x1 m, hodnota R-faktora podľa autora F. Alena				
	G t/ha/rok	Kategória erodovateľnosti poľnohospodárskych pôd				G t/ha/rok	Kategória erodovateľnosti poľnohospodárskych pôd			
		Žiadna až slabá 0-4 t/ha/rok	Stredná 4-10 t/ha/rok	Vysoká 10-30 t/ha/rok	Extrémna >30 t/ha/rok		Žiadna až slabá 0-4 t/ha/rok	Stredná 4-10 t/ha/rok	Vysoká 10-30 t/ha/rok	Extrémna >30 t/ha/rok
Počet pixelov	327850	48811	34974	159700	84365	328035	70 412	127923	120610	9090
Výmera územia [ha]	32,79	4,88	3,50	15,97	8,44	32,81	7,04	12,79	12,06	0,91
Výmera [%]	100	14,89	10,67	48,71	25,73	100	21,46	39,00	36,77	2,77



Obrázok 1: Mapy priemernej ročnej straty pôdy pre 1x1 m podľa autorov M. Onderka, J. Pecho (vľavo) a F. Alena (vpravo)

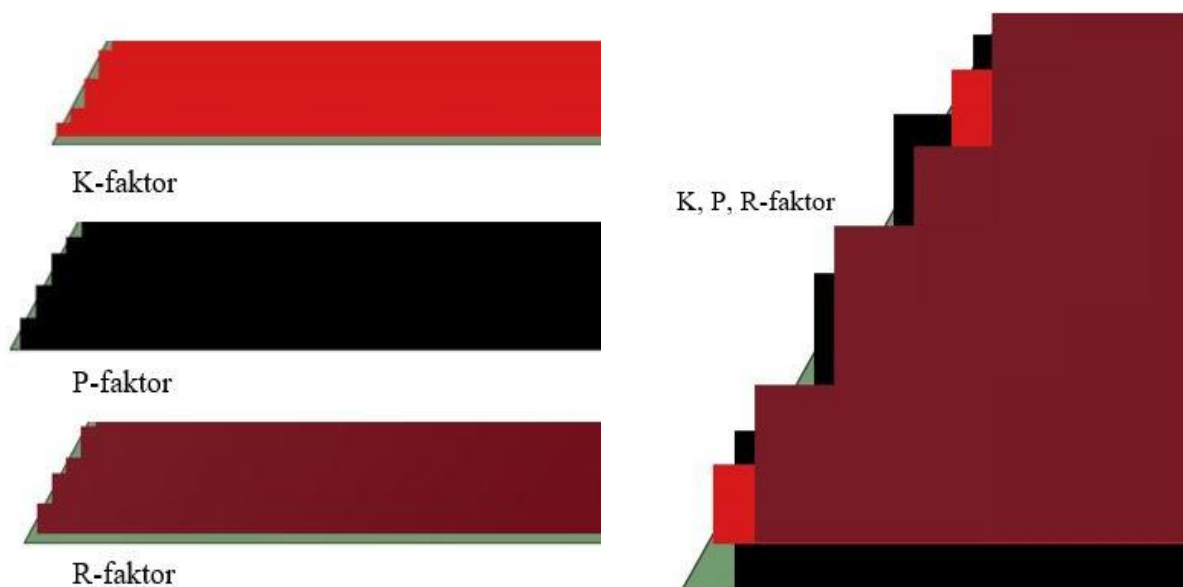
Analýza problému výpočtu rovnice

Na základe štatistických výsledkov uvedených vyššie v Tabuľke 3 je zrejmé, že výsledné hodnoty celkového výpočtu odnosu pôdy pre výmeru územia a počet pixelov sa nezhodujú. Keďže výpočet bol vykonaný pre to isté územie a v rovnakej rastrovej veľkosti, hodnoty by sa mali rovnať. Preto bola vykonaná podrobná štatistická analýza jednotlivých faktorov, ktoré vstupujú do výpočtu. Použitá bola štatistická funkcia „Raster layer unique values report“. V Tabuľke 4 sa nachádzajú výsledky štatistiky jednotlivých faktorov.

Tabuľka 4: Štatistika výsledkov pôvodných faktorov

Výpočet podľa autorov M. Onderka, J. Pecho		Výpočet podľa autora F. Alena	
	Pôvodný počet pixelov		Pôvodný počet pixelov
R	328 881	R	328 773
K	328 850	K	328 850
S	328 834	S	328 834
C	328 773	C	328 773
P	328 773	P	328 773
Sklon svahu	325 538	Sklon svahu	325 538
G	327 850	G	328 035

Pre L-faktor nebolo potrebné vykonať štatistickú analýzu, pretože vo výpočte bola použitá konkrétna hodnota. Vo výsledkoch štatistickej analýzy pre pôvodný výpočet boli objavené nezrovnalosti pri faktoroch R podľa autorov M. Onderka, J. Pecho, pri faktore K a S. Na základe týchto výsledkov boli podrobne skontrolované jednotlivé vrstvy. Zistilo sa, že v jednotlivých faktoroch prišlo k posunutiu a inému počtu a rozloženiu pixelov. Príklad posunutia jednotlivých faktoroch sú uvedené na Obrázku 2, kde zelenou farbou sú zobrazené hranice polygónu územia.



Obrázok 2: Ukážka posunutia faktorov K, P a R

Na základe hodnôt štatistiky pôvodných výpočtov a aj vizuálnych odlišností je zrejmé, že prišlo pri výpočte Univerzálnej rovnice straty pôdy k nezrovnalostiam. Po dôkladnej kontrole všetkých postupov a výpočtov je predpoklad, že odchýlky výsledkov vznikli pri použití nástroja „Clip raster by mask“, ktorý bol použitý pre vytvorenie nových rastrových vrstiev. Tento nástroj slúži na vystrihnutie rastrovej vrstvy pomocou vektorovej vrstvy. V tomto prípade bol tento nástroj použitý na orezanie rastrových vrstiev faktorov pomocou vektorovej vrstvy polygónu územia. Dané odchýlky vznikli pri faktoroch R podľa autorov M. Onderka, J. Pecho, pri faktore K a S, pretože vstupné dáta boli pre väčšie územie ako sú hranice riešeného územia. Faktor R podľa autora F. Alena, C a P boli vytvorené ako nové rastrové vrstvy s konkrétnou hodnotou, preto majú rovnaký počet pixelov a neprišlo k posunutiu. Keďže sklon svahu a výsledné G sú ovplyvnené všetkými vrstvami, ktoré vstupujú do výpočtov, ani tento počet pixelov sa nezhoduje.

3 Nová metóda orezávania vrstiev

Opravné výpočty boli vykonané pre rastrovú veľkosť 1x1 m. Výpočty boli uskutočnené v súradnicovom systéme S-JTSK (JTSK) s ESPG:5514. Bol použitý rovnaký digitálny model reliéfu ako v pôvodných výpočtoch.

Pre získanie odpovedí ako vyriešiť daný problém, ktorý vznikol pri použití nástroja na orezávanie vrstiev, bolo potrebné vyskúšať ďalšie nástroje, ktoré ponúka open-source softvér a spraviť opäť štatistickú analýzu vrstvy. Jedným z nich bol ďalší nástroj na orezávanie vrstiev „Clip raster with polygon“. Výsledkom po použití tohto nástroja bolo opätovné mierne posunutie pixelov.

Ďalšou možnosťou bolo použitie nástroja „Raster Calculator“, ktorý umožňuje vykonávať výpočty na základe existujúcich hodnôt rastrových pixelov. Tento nástroj umožňuje priradiť k výpočtu rozsah územia z ľubovoľnej vrstvy. Výsledky sa zapisujú do novej rastrovej vrstvy.

Pre použitie tohto nástroja bolo potrebné vytvoriť si pomocnú rastrovú vrstvu, s ktorou budú následne iné vrstvy „orezané“. Použitá bola vektorová vrstva polygónu územia rasterizovaná pre veľkosť pixelov 1x1 m s hodnotou 1. Po vytvorení tejto vrstvy bola vykonaná štatistická analýza použitím funkcie „Raster layer unique values report“, a po vyhodnotení výsledkov boli počty pixelov zhodné s počtom pixelov ako pre faktor R podľa autora F. Alena a faktory C a P. Preto boli tieto faktory zhodnotené ako správne. Opravné výpočty boli vykonané pre faktory R podľa autorov M. Onderka, J. Pecho, faktory K, S, pre výpočet sklonu svahu a celkový výpočet rovnice straty pôdy pre obe skupiny autorov.

Vstupné dáta pre výpočet R-faktora podľa autorov M. Onderka, J. Pecho boli použité tie isté ako v pôvodnom výpočte podľa autorov M. Onderka, J. Pecho. Na základe 3 lokalít bola použitá interpolačná metóda IDW. Zo získanej interpolácii a vytvorenej pomocnej rastrovej vrstvy územia s použitím nástroja „Raster Calculator“ bola dosiahnutá nová vrstva R-faktora.

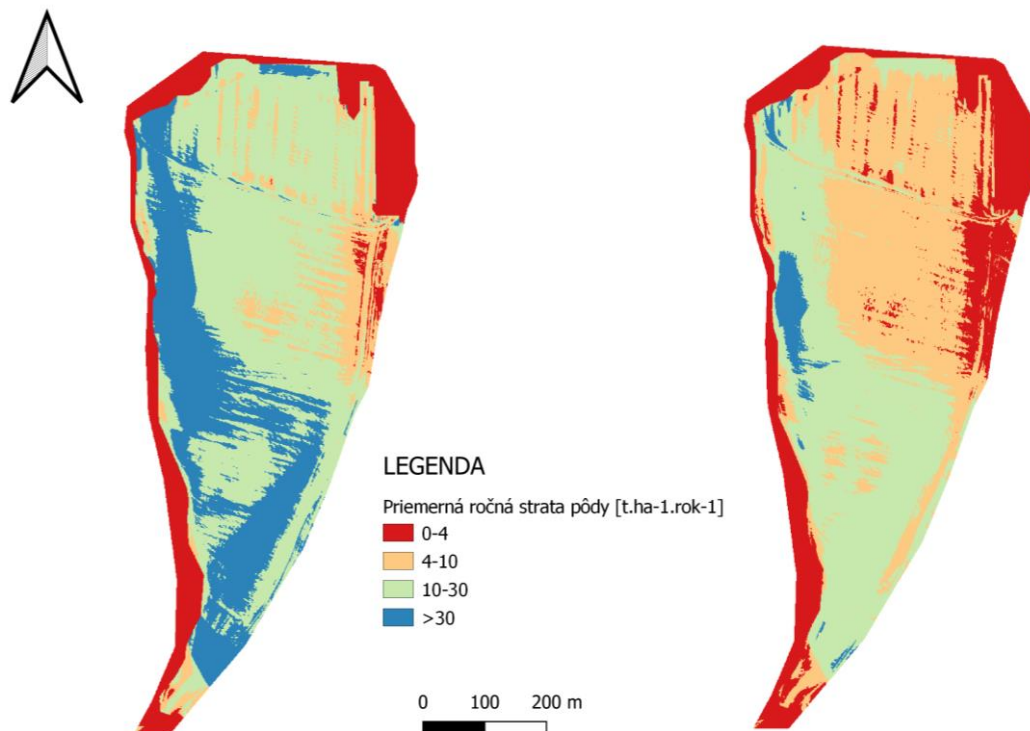
Základný postup vstupných dát výpočtu faktora náchylnosti pôdy (K-faktora) bol zachovaný z pôvodného výpočtu. Po prekontrolovaní vektorovej polygónovej vrstvy s hodnotami K-faktora, ktorá bola vytvorená na základe hraníc BPEJ bola rasterizovaná pre veľkosť pixelov 1x1 m. Následne bola orezaná cez „Raster Calculator“ s pomocnou rastrovou vrstvou územia.

Pre výpočet pôvodného S-faktora síce bola použitá funkcia „Raster Calculator“ ale do vzorca vstupuje vrstva sklon svahu v percentách, ktorá bola v pôvodnom výpočte orezaná pomocou „Clip raster by mask“. Preto bolo potrebné vrstvu sklonu svahu najprv orezať pomocou „Raster Calculator“ s pomocnou vrstvou územia a až po orezaní použiť vo vzorci podľa autorov Wischemeier a Smith.

Spôsob výpočtu celkového odnosu pôdy bol opäť rovnaký ako v pôvodnom postupe menili sa len vstupné vrstvy. Po určení kategórií erodovateľnosti bola vykonaná štatistická funkcia „Raster layer unique values report“. V Tabuľke 5 sa nachádza porovnanie nových výsledkov výpočtov rovnice podľa autorov M. Onderka, J. Pecho a autora F. Alena. Na Obrázku 3 sú zobrazené mapové výstupy priemernej ročne straty pôdy podľa autorov M. Onderka, J. Pecho a autora F. Alena.

Tabuľka 5: Štatistika nových výsledkov Univerzálnej rovnice straty pôdy pre veľkosť rastra 1x1 m

Veľkosť pixelov 1x1 m, hodnota R-faktora podľa autorov M. Onderka, J. Pecho					Veľkosť pixelov 1x1 m, hodnota R-faktora podľa autora F. Alena					
	G t/ha/rok	Kategória erodovateľnosti poľnohospodárskych pôd				G t/ha/rok	Kategória erodovateľnosti poľnohospodárskych pôd			
		Žiadna až slabá 0-4 t/ha/rok	Stredná 4-10 t/ha/rok	Vysoká 10-30 t/ha/rok	Extrémna >30 t/ha/rok		Žiadna až slabá 0-4 t/ha/rok	Stredná 4-10 t/ha/rok	Vysoká 10-30 t/ha/rok	Extrémna >30 t/ha/rok
Počet pixelov	328773	49708	34902	159963	84200	328773	71079	127843	120781	9070
Výmera územia [ha]	32,88	4,97	3,49	16,00	8,42	32,88	7,11	12,78	12,08	0,91
Výmera [%]	100	15,12	10,62	48,65	25,61	100	21,62	38,88	36,74	2,76



Obrázok 3: Mapy priemernej ročnej straty pôdy pre 1x1 m podľa autorov M. Onderka, J. Pecho (vľavo) a F. Alena (vpravo)

Na základe hodnôt uvedených v Tabuľke 5 je zrejmé, že nové výsledky Univerzálnej rovnice straty pôdy majú zhodný počet pixelov aj výmeru územia. Ak porovnáme výsledky z Tabuľky 3 počet pixelov u jednotlivých kategóriách erodovateľnosti je o niečo menší alebo väčší. Tým pádom je aj percentuálne zastúpenie kategórií erodovateľnosti pozmenení. Najdôležitejší parameter je počet pixelov celkového výpočtu Univerzálnej rovnice straty pôdy podľa oboch skupín autorov, ktorý sa tentokrát zhoduje. Výmera riešeného územia a vektorovej vrstvy polygónu územia je 32,89 ha. V oboch nových výsledkoch je výmera územia 32,88 ha rastrovej vrstvy celkové odnosu pôdy. Rozdiel vo výmere územia 0,01 ha je spôsobené iným grafickým zobrazením, v tomto prípade rastrom.

Pre zaistenie správnosti výsledkov uvedených v Tabuľke 5 bola ešte raz vykonaná štatistická funkcia „Raster layer unique values report“ pre všetky nové vrstvy, ktoré vstupovali do výpočtov. Výsledky počtov pixelov pre jednotlivé vrstvy sú uvedené v Tabuľke 6.

Tabuľka 6: Štatistika výsledkov novovytvorených faktorov

Výpočet podľa autorov M. Onderka, J. Pecho		Výpočet podľa autora F. Alena	
	Nový počet pixelov		Nový počet pixelov
R	328 773	R	328 773
K	328 773	K	328 773
S	328 773	S	328 773
C	328 773	C	328 773
P	328 773	P	328 773
Sklon svahu	328 773	Sklon svahu	328 773
G	328 773	G	328 773

4 Záver

Pôdne erózie sa môžu vplyvom zmien klimatických podmienok ale aj nesprávnym obhospodarovaním objavovať čím viac tým častejšie. Keďže majú nepriaznivý vplyv, poškodzujú poľnohospodárske oblasti a môžu ohroziť životy obyvateľov. Je potrebné sa správať zodpovedne voči prírode, aby sa predchádzalo týmto javom. Správne využívanie pôdy ale aj správna predikcia možného odnosu pôdy a správne postupy ako postupovať môže mať pozitívny vplyv pre život všetkých naokolo. Využívaním ponúkaných voľno dostupných open-source softvérov ako je QGIS, je veľkou výhodou pre každého jedného užívateľa. Vďaka tomuto softvéru je možné pracovať na rôznych projektoch v rôznych oblastiach života. V tomto prípade výpočtov Univerzálnej rovnice straty pôdy sa nejednalo o veľké územie, čo možno nespôsobilo až také veľké rozdiely v hodnotách odnosu pôdy v pôvodnom a novom výpočte. Dôležitejším údajom bol skôr počet pixelov a pre aké veľké územie boli výpočty zachytené. Tým, že v pôvodnom výpočte vznikli rozdiely pre obe skupiny autorov, bol to jasný náznak pochybenia. Bolo potrebné preskúmať, či chyba bola zapríčinená ľudským faktorom alebo išlo o softvérovú chybu. Po mnohých kontrolách a skúškach, bolo zistené, že sa jednalo o chybu pri orezávaní jednotlivých vrstiev, ktoré vstupovali do rovníc. Aj napriek tomu, že v tejto práci boli zistené mierne nedostatky určitých nástrojov, program je neustále vo vývoji. Výsledky tejto práce môžu byť dobrým príkladom a príručkou pre ďalších užívateľov QGIS-u.

PodĎakovanie: Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-19-0340. PodĎakovanie za odborné rady pri postupovaní v práci patrí Ing. Jakubovi Fuskovi, PhD.

5 Literatúra

ALENA, F., 1991. *Protierózna ochrana na ornej pôde, Metodická pomôcka*. Bratislava: ŠMS.

ONDERKA, Milan a Jozef PECHO, 2019. Update of the erosive rain factor in Slovakia using data from the period 1961–2009. *Contributions to Geophysics and Geodesy* [online]. 2019, roč. 49, č. 3, s. 355–371. ISSN 1338-0540. Dostupné na: doi:10.2478/congeo-2019-0018

PETLUŠOVÁ, Viera, Peter PETLUŠ a Juraj HREŠKO, 2016. *Identifikácia procesov vodnej erózie v poľnohospodárskej krajine*. Nitra: Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre. ISBN 978-80-558-1118-5.

STANKOVIANSKY, M., J. MINÁR, I. BARKA, R. BONK a M. TRIZNA, 2010. Investigating muddy floods in Slovakia. *Land Degradation & Development* [online]. 2010, roč. 21, č. 4, s. 336–345. ISSN 10853278. Dostupné na: doi:10.1002/ldr.1004

ŠEDIVÁ, Aneta, 2021. Využitie LiDAR-ových dát v krajinom plánovaní, Bachelor thesis, registration number: SvF-113712-98156

ŠTEFUNKOVÁ, Zuzana, 2020. *Pozemkové úpravy v krajinom plánovaní Návody na cvičenia*. Bratislava: SPEKTRUM STU, Bratislava. ISBN 978-80-227-4998-5.

WISCHMEIER, W.H. a D.D. SMITH, 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses*. Beltsville, Maryland: Science and Education Administration, United States department of Agriculture.

Pôdny portál, online, 11.10.2021: Hranice BPEJ,
<http://www.podnemapy.sk/portal/verejnost/bpej/bpej.aspx>

Pôdny portál, online, 11.10.2021: Hraničné hodnoty kategórie erodovateľnosti poľnohospodárskych pôd, <http://www.podnemapy.sk/portal/verejnost/erozia/vod/vod.aspx>