Metódy na výpočet LS faktora pri modelovaní vodnej erózie pôdy

Universal Soil Loss Equation (USLE) is frequently used model for computing soil erosion. Computing LS factor is most problematic part of this equation. I was comparing 3 methods of LS factor computing. First method is analog computing. This method is very slow and is incorrect for non homogenic surfaces. Second is computing LS factor by the D8 algorithm. This algorithm compute flowlenght from flowdirection grid. LS factor is zig-zaged because D8 algorithm simulate flowmovement only by 8 direction. Best method for computing LS factor is computing from flow accumulation grid (MD algorithm). This method produce smooth results and represent also relief curvature influence.

Juraj Lieskovský

úvod

Modelovanie eróznej ohrozenosti pôd sa v súčasnosti dostáva čoraz viac do popredia. Otázka ohrozenosti pôd vodnou eróziou je jednou z hlavných problémov trvalo udržateľného rozvoja poľnohospodárstva. K rozvoju modelovania erózie výrazne prispieva aj rozvoj geografických informačných systémov a hardwarových možností počítačov. Najčastejšie používaným modelom u nás je empirický model USLE, ktorý navrhli Wischmeier a Smith (1958).

Využíva sa tu mapová algebra pri násobení vrstiev:

- R faktor – dažďový faktor
- K faktor – faktor erodovateľnosti pôdy
- LS faktor – faktor vplyvu neprerušovanej dĺžky svahu (L) a vplyvu sklonu svahu (S)
- C faktor – vyjadrujúci vplyv osevného postupu a agrotechniky
- P faktor – vyjadrujúci vplyv protieróznych opatrení

Najproblematickejšie je z hľadiska počítačového modelovania určenie LS faktora. Predmetom tejto práce je porovnanie 3 algoritmov na určenie LS faktora. Prvý algoritmus je analógový, ktorý sa používal pred zavedením GIS modelovania. Túto metodiku používal aj Wischmeier a Smith pri navrhovaní modelu USLE. Druhý algoritmus je výpočet dĺžky svahu z mapy smeru povrchového odtoku (D8 algoritmus). Táto metodika sa v súčasnosti používa najčastejšie. Tretím spôsobom je výpočet tzv. LS_p faktora podľa Moorea a Burcha,1986 a,b .(cit Mitasova, H., Mitas, L. 1999). Tu sa LS_p faktor ráta z mapy akumulácie povrchového odtoku (MD algoritmus).

1.analógové určenie LS faktora

Dĺžka svahu sa ráta z vrstevníc od rozvodnice. Je to proces náročný na čas a presnosť. Problémom sú hlavne nehomogénne svahy. Dĺžka svahu je reprezentovaná izočiarami (mapa 1). Na modelovom území je interval medzi izočiarami 100 m. Každému intervalu zodpovedá hodnota L faktora.

Sklon svahu sa tiež ráta z vrstevníc (podľa ich vzdialenosti a intervalu nadm. výšky). Namerané sklony sa zaraďujú do 4 kategórií (mapa 2), ktorým je priradená hodnota S faktora. Prekrytím mapy L faktora a S faktora vzniká mapa LS faktora (mapa 3).

Nevýhody:

- vysoká časová náročnosť
- nepresnosť hlavne na nehomogénnych svahoch

- faktory sú rozdelené do intervalov
- metóda neberie do úvahy horizontálnu ani vertikálnu krivosť reliéfu

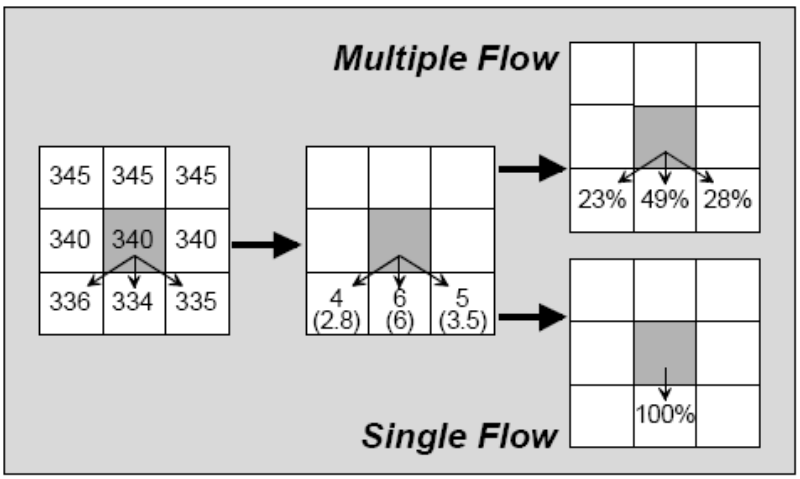
Výhody:

- metóda je rokmi používania overovaná a mnohými autormi vylepšená (určenie vplyvu vertikálnej krivosti reliéfu a pod.)

2.Určenie LS faktora z mapy smeru povrchového odtoku (D8 algoritmus).

Táto metóda sa používa v súčasnosti najčastejšie. Dĺžku svahu z mapy smeru povrchového odtoku rátajú mnohé GISi (IDRISI Kilimanjaro, Hydrological modeling pre ArcView, Arc hydro tools pre ArcGis a pod.). Z DEM sa najprv vyráta mapa smeru povrchového odtoku - Flow direction (mapa 4). Smer povrchového odtoku sa určí na základe rozdielu nadm. výšok susediacich pixlov, pričom odtok všetkej vody sa simuluje do pixla s najnižšou nadmorskou výškou. (Obr. 1 dole). Problémom je, že algoritmus umožňuje len 8 rôznych smerov odtoku pretože každý pixel susedí s 8 pixlami. Každý pixel mapy smeru povrchového odtoku obsahuje informáciu do ktorého z 8 susediacich pixlov bude smerovať prúd vody. Na základe toho sa modelujú dráhy odtoku, ktoré sú ale kľukaté. Dĺžka jednotlivých dráh sa ráta tak, že sa sčítavajú pixle, ktorými prúd preteká.

Obr.1. Algoritmus na výpočet mapy dĺžky svahu a mapy povrchového odtoku. Vľavo DEM. V strede: rozdiel v nadm. výškach pixlov, do ktorých bude voda odtekať. Vpravo hore: rovnomerná distribúcia povrchového odtoku pri rátaní mapy povrchového odtoku. Vpravo dolu: pri rátaní svahových dĺžok z mapy smeru povrchového odtoku sa simuluje povrchový odtok iba jedným smerom (autor obr. Schäuble).



Výsledná mapa dĺžky svahu je potom nepresná (mapa 5). Dĺžka svahu sa prevedie do L faktora pomocou vzorca.

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

L – faktor vplyvu dĺžky svahu

l – dĺžka svahu meraná od rozvodnice v m

p – exponent zahrňujúci vplyv sklonu svahu v % (1%...p=0,2 1%-3%...p=0,3 3%-5%...p=0,4 5%<…p=0,5)

Sklon svahu sa analyzuje z DEMu – slope (mapa 6) . Hodnota faktora sklonu svahu sa vypočíta z rovnice:

$$S = \frac{0,43 + 0,3s + 0,043s^2}{6,613}$$

S – faktor vplyvu sklonu svahu

s – sklon svahu v %

Tieto 2 vzorce sa môžu spojiť do jedného na výpočet LS faktora.

$$LS = \frac{l^p}{100}(1,36 + 0,97s + 0,1385s^2)$$

LS – hodnota LS faktora.

Výsledná mapa LS faktora (mapa 7) je pre kľukatosť dráh povrchového odtoku nepresná. (typickou chybou sú veľké rozdiely v LS faktore susediacich pixlov na relatívne homogénnom svahu). Aby sa dala použiť pre ďalšie výpočty erózie treba ju vyhladiť hrubým filtrom čo má za následok ďalšie skreslenie údajov.

Nevýhody:

- mapa simuluje povrchový odtok len 8 rôznymi smermi
- dráhy povrchového odtoku sú kľukaté
- potreba hrubej filtrácie spôsobuje ďalšie skreslenie

Výhody:

- rýchly spôsob oproti analógovému postupu
- metódu podporuje viacero GISov (IDRISI Kilimanjaro, ArcView, ArcGis)

3.Určenie LS faktora z mapy akumulácie povrchového odtoku (MD algoritmus).

Revidovaná USLE rovnica - RUSLE ráta LS faktor na základe mapy akumulácie povrchového odtoku.

Na vytvorenie mapy akumulácie povrchového odtoku - flow accumulation sa najlepšie osvedčil MD algoritmus. Podporujú ho modul r.flowmd pre GRASSi a Hydro tools 1.1 pre ArcView . Tento algoritmus rozdelí množstvo odtečenej vody v závisloti od rozdielu nadm. výšok medzi jednotlivé susediace pixle (obr.1 hore).

LS faktor sa potom vyráta zo vzorca podľa Moorea a Burcha (1986) (cit.Šimonides 2000, Mitasova, Mitas 1999)

$$LS_p = \left(\frac{A \times p}{22{,}13}\right)^m \cdot \left(\frac{\sin\beta}{0{,}0896}\right)^n$$

A – príspevková plocha povodia (mapa flow accumulation)

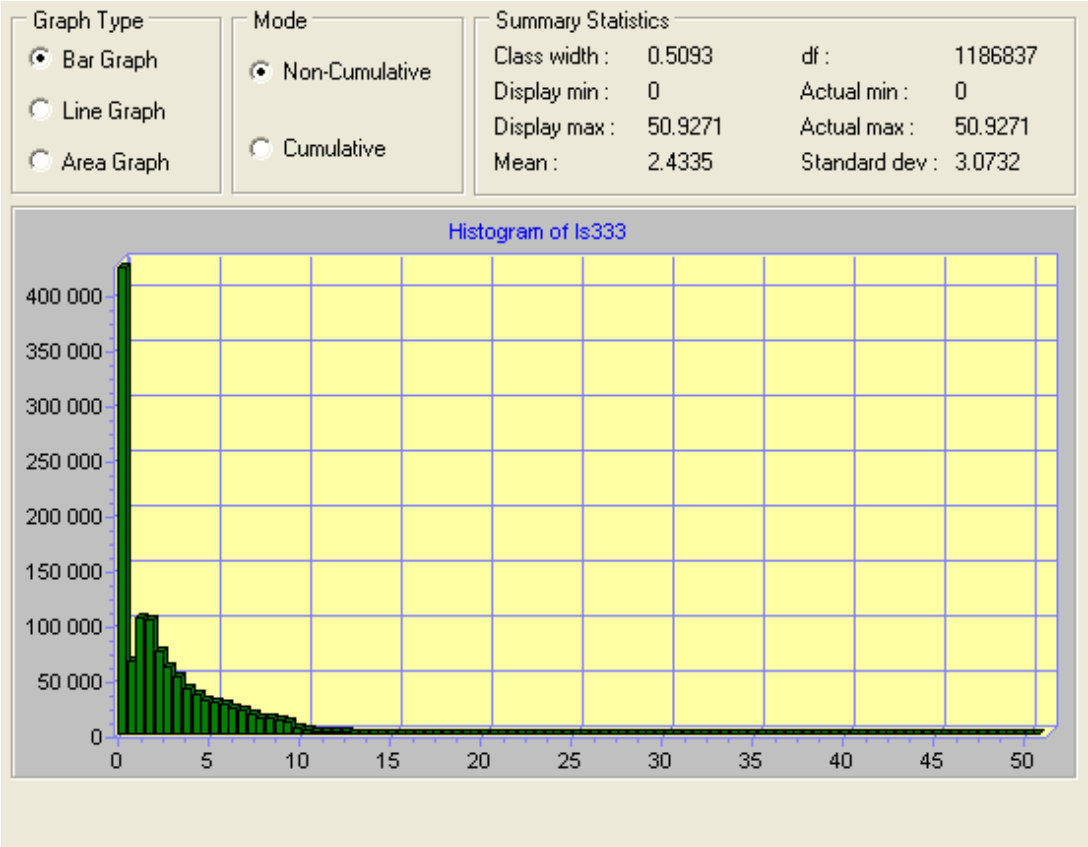
p – dĺžka hrany gridu

β - sklon svahu v stupňoch

m, n – koeficienty, ktoré pre vrstvičkovú eróziu nadobúdajú hodnoty m = n = 1 a pre jarčekovú eróziu m = 0,6 a n = 1,3.

Výpočtom akumulácie povrchového odtoku vzniká odchýlka. V údolniciach vychádzajú extrémne vysoké hodnoty LS faktora (je to preto, že v údolniciach sa akumuluje voda z celého povodia). Aby neboli výsledky skreslené treba odchýlku odstrániť. Hodnoty, ktoré sú už odchýlkou nám ukáže histogram mapy LS faktora (Obr 2). Množstvo pixlov s príliš vysokými hodnotami je zanedbatelné. Preto treba mapu reklasifikovať tak, že ich hodnoty reklasifikujeme na prahovú hodnotu (kde ešte množstvo pixlov nie je štatisticky bezvýznamné). V mojom modelovom príklade je to hodnota 15. Výsledná mapa LS faktora (mapa 9) je hladká a dobre reprezentuje povrchový tok a vplyv dĺžky, sklonu a krivosti svahu na eróziu pôdy.

Obr 2. Histogram mapy LS faktora



Neýhody:

- Pri tejto metóde vzniká odchýlka, ktorú treba odstrániť
- Algoritmus na výpočet povrchového odtoku z DEM podporuje málo programov (modul r.flowmd v GRASSe, Hydro tools 1.1 pre ArcView)

Výhody:

- Rýchlosť oproti analógovému spôsobu
- Verná a hladká simulácia LS faktora
- LS faktor zohľadňuje krivosti reliéfu
- Vhodnosť pre spracovanie v GIS

Záver

Na výpočet LS faktora považujem za najvodnejší algoritmus z mapy akumulácie povrchového odtoku. Túto mapu treba ale rátať MD algoritmom, ktorý ráta akumuláciu priamo z DEM. Počítajú ju GRASSi modulom r.flowmd. Tiež na to slúži freewarová nadstavba pre Arc View Hydro tools 1.1. Je voľne prístupná na adrese www.terracs.de. LS faktor sa potom vyráta

podľa vzorca revidovanej rovnice RUSLE, ktorý navrhol Moore a Burch (1986). Pri výpočte LS faktora si treba dať pozor na vzniknutú odchýlku. Príliš vysoké hodnoty sa dajú vyčítať z histogramu a odstrániť pomocou reklasifikácie. Vzniknutá mapa LS faktoru je hladká a dobre reprezentuje vplyv dĺžky a sklonu svahu. Takýto LS faktor potom možno použiť na výpočet mapy erózie (mapa 10).

Literatúra:

Hofierka, J.2003 :r.flowmd In.GRASS raster commands.126 – 129

Mitasova, H., Mitas, L. 1999: Modeling soil detachment with RUSLE 3d using GIS, University of Illinois at Urbana-Champaign

Moore, I. and G. Burch. 1986a: Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. Soil Science Society of America Journal 50:1294-1298.

Moore, I. and G. Burch. 1986b: Modeling erosion and deposition: topographic effects. TRANS of ASAE 29(6):1624-1630,1640.

Schäuble, H. 2003: Hydrotools 1.1 for ArcView 3.x - user guide, Institute of Applied Geosciences, Technical University of Darmstadt, 12 pp.

Wischmeier, W. H., Smith, D. D.,1978: Predicting Rainfall Erosion Losses - a Guide to Conservation Planning. U. S. Department of Agriculture, Agr. Handbk., 537, Hyatsville, 58 pp.

Adresa autora:

Juraj Lieskovský

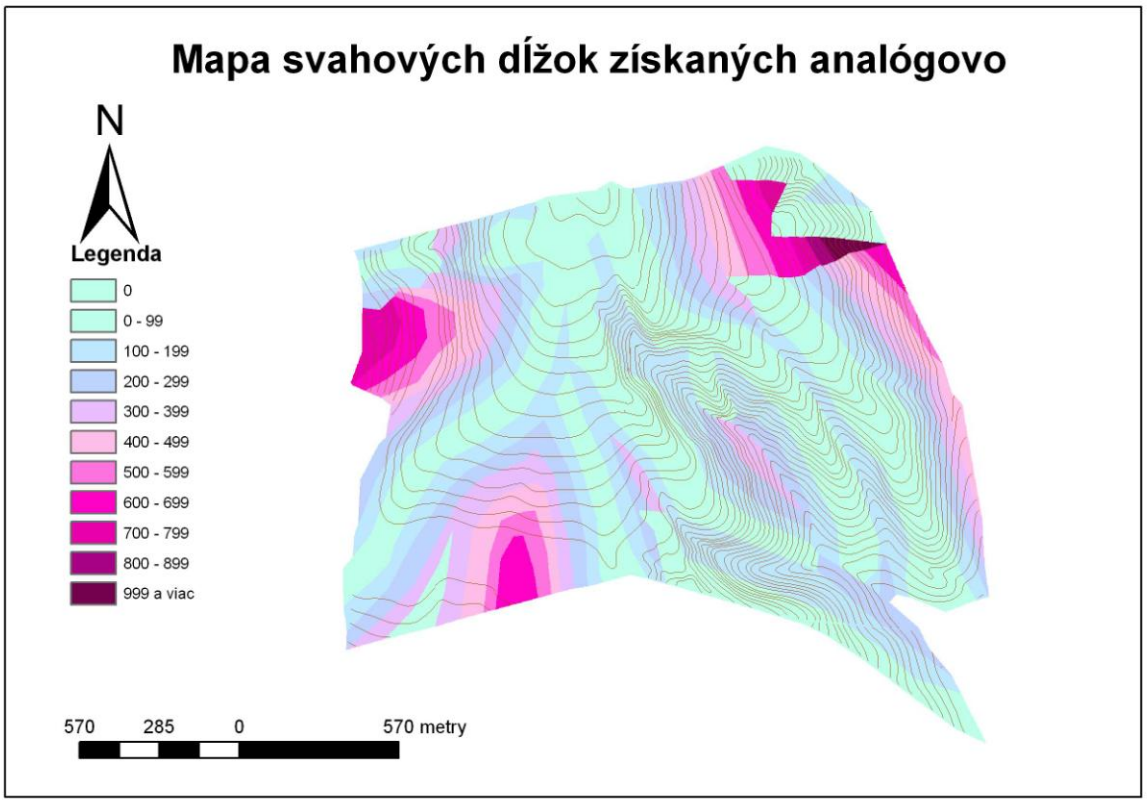
Lúky 1135/66

952 01 Vráble

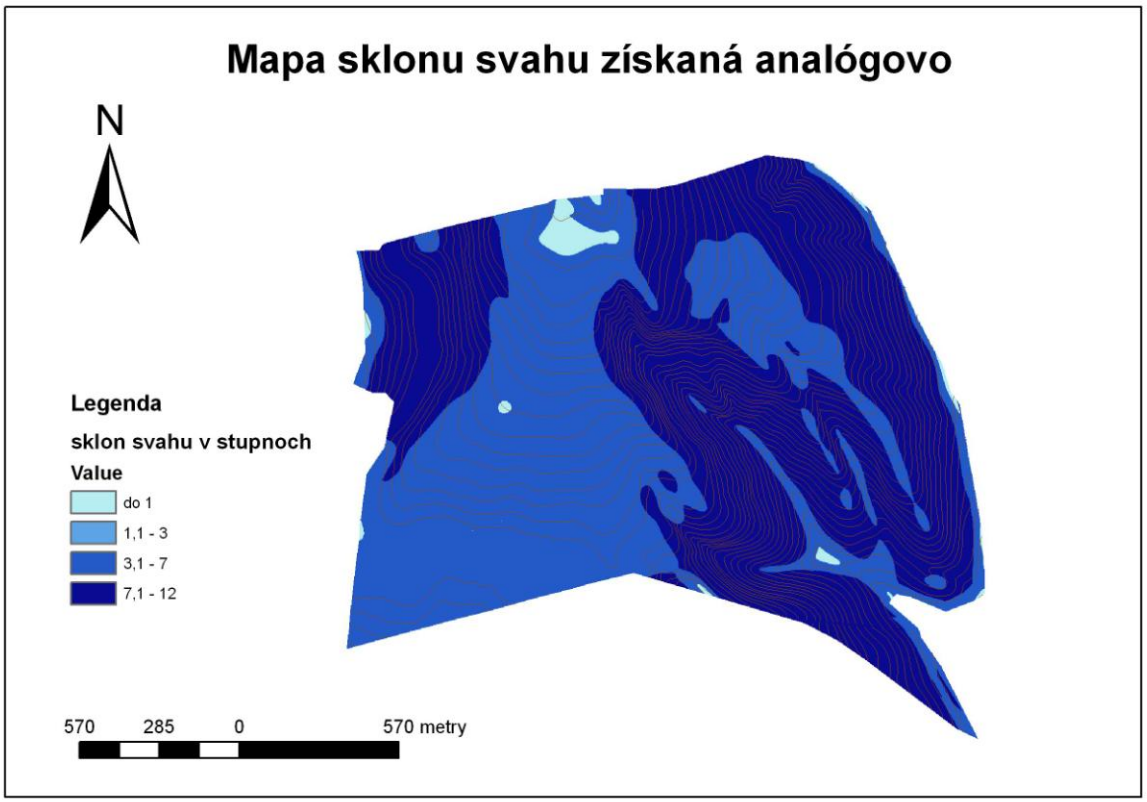
Juraj.lieskovsky@gmail.com

0907/528 612

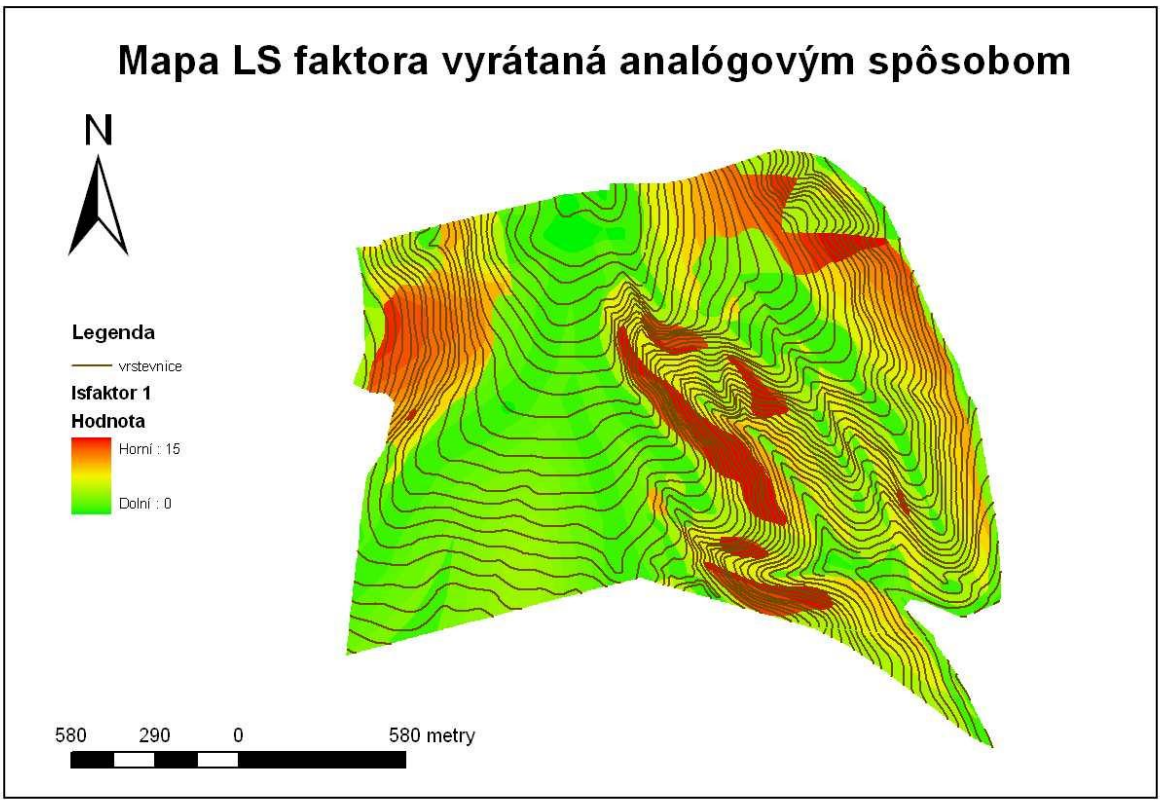
Mapa 1. Mapa svahových dĺžok získaných analógovo



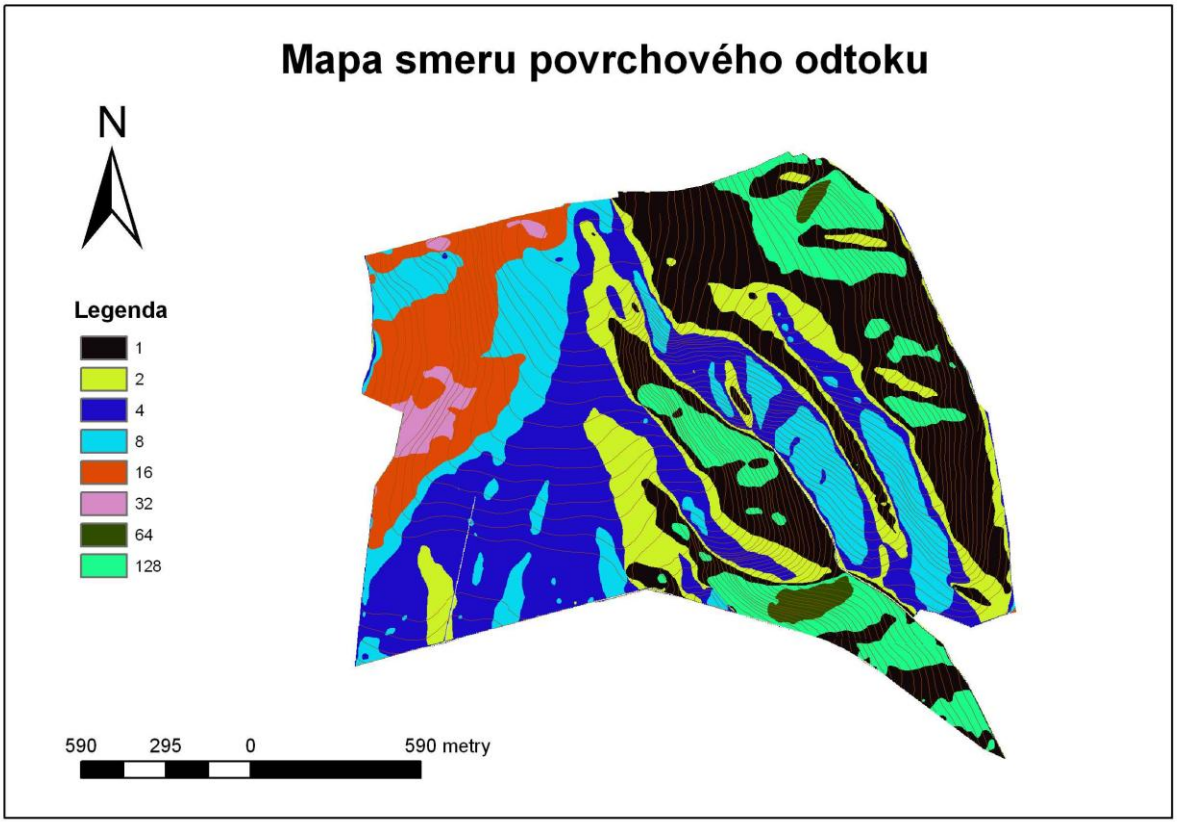
Mapa 2. Mapa sklonu svahu získaná analógovo



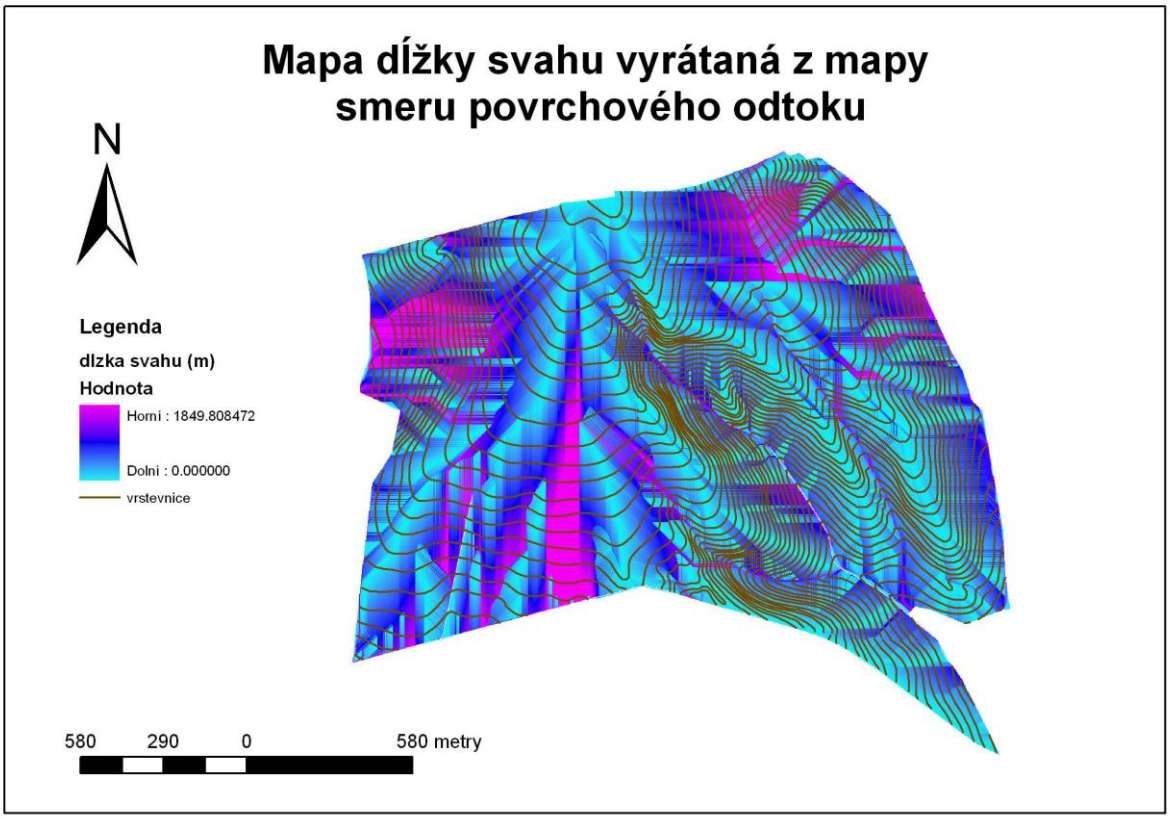
Mapa 3. Mapa LS faktora vyrátaná analógovým spôsobom



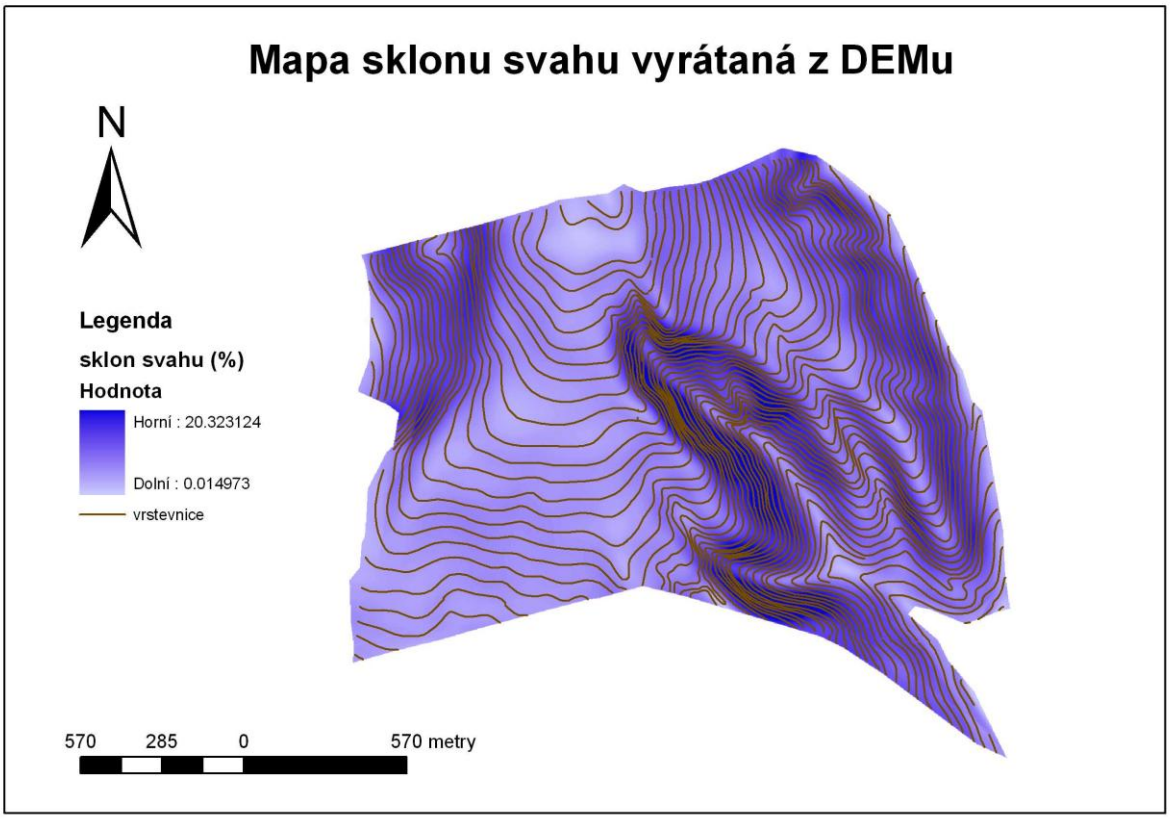
Mapa 4. Mapa smeru povrchového odtoku



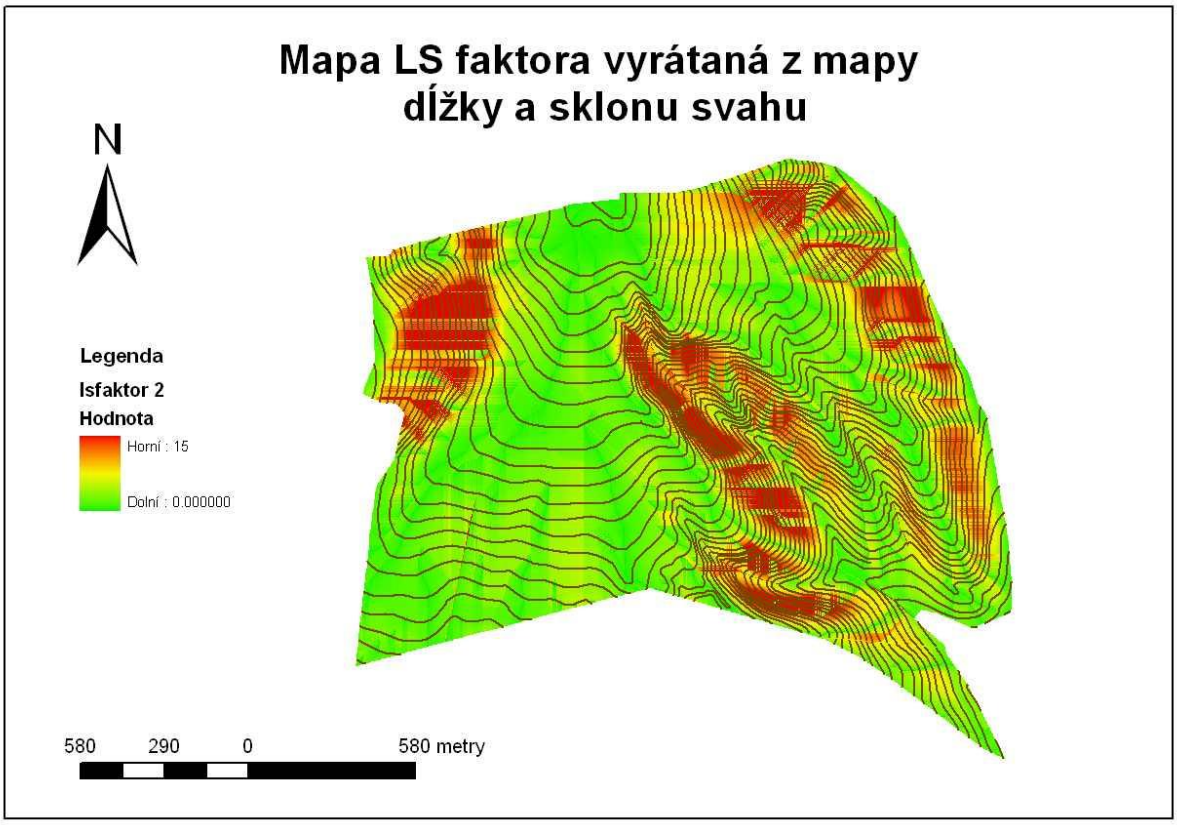
Mapa 5. Mapa dĺžky svahu vyrátaná z mapy smeru povrchového odtoku



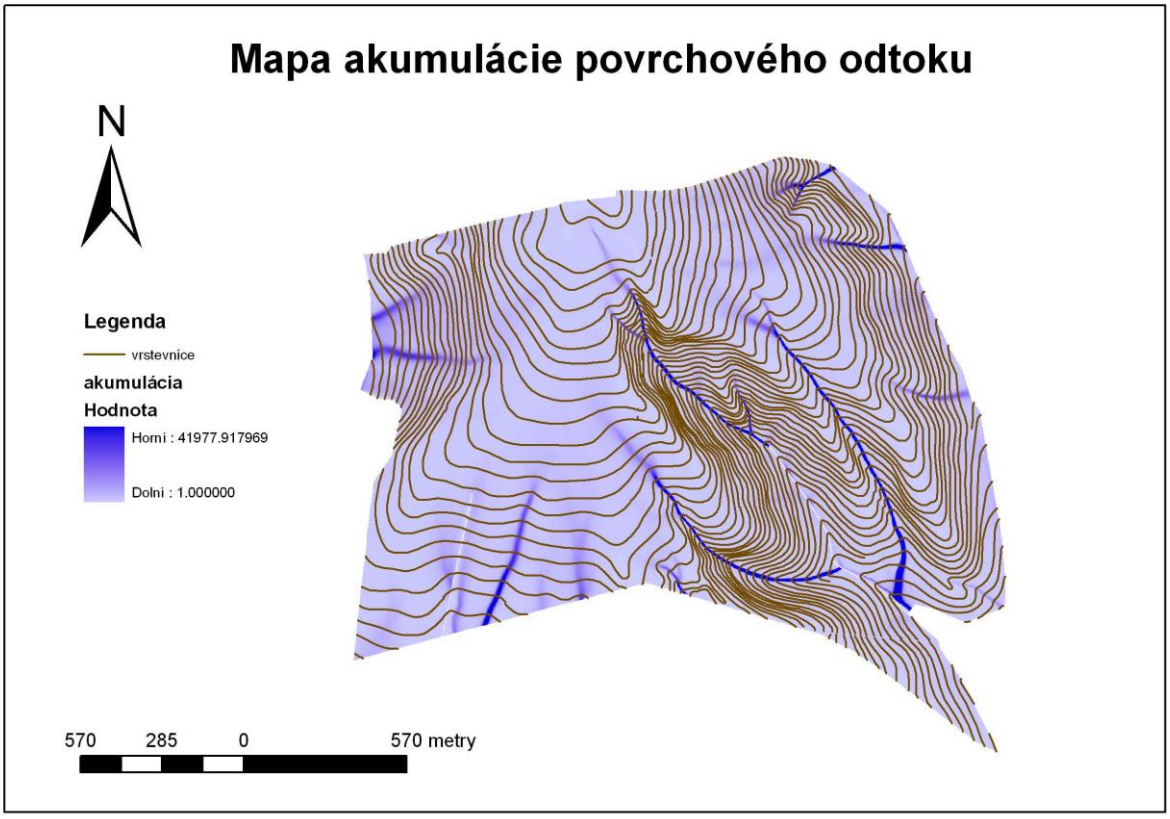
Mapa 6. Mapa sklonu svahu



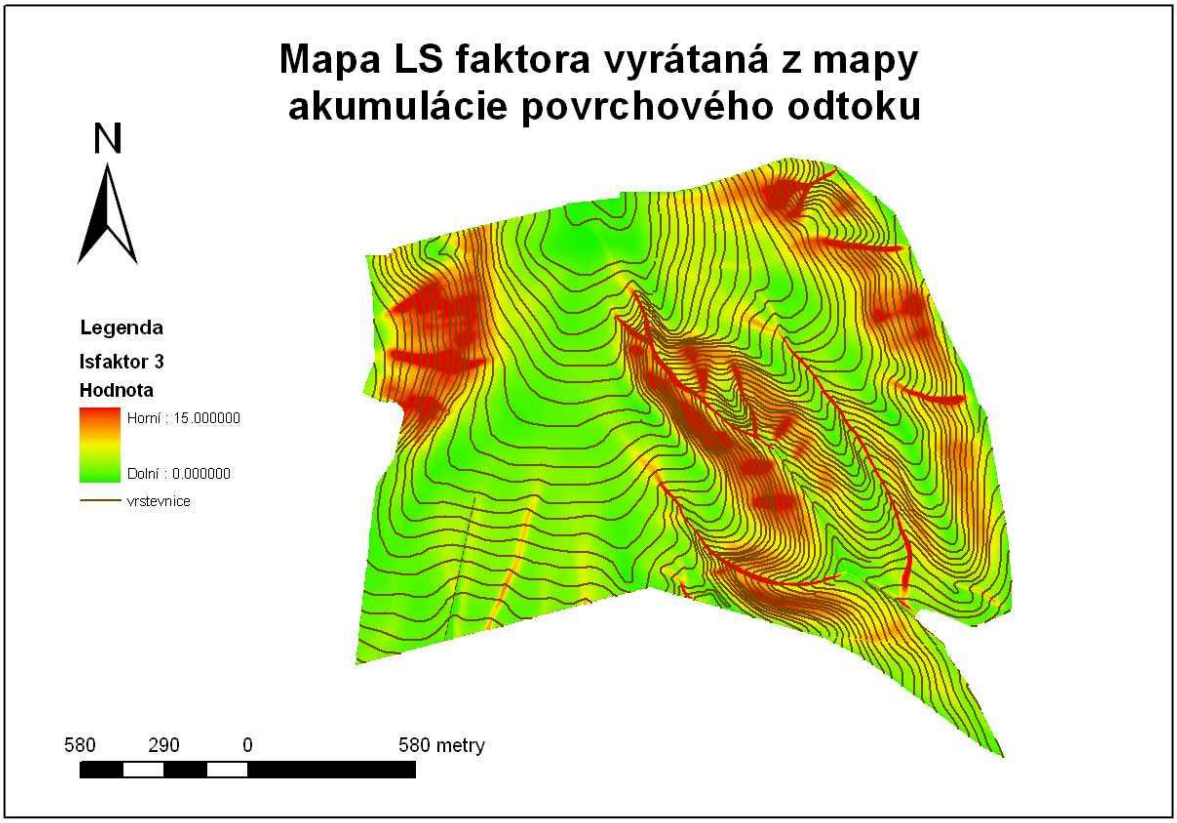
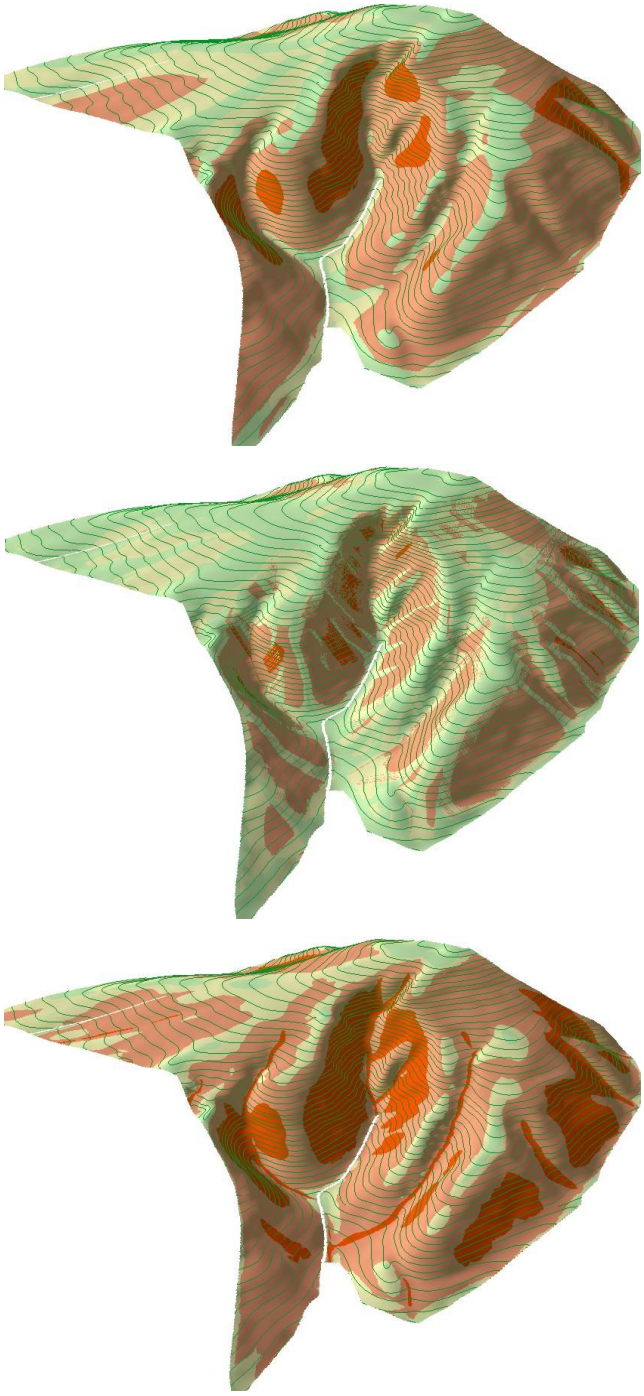
Mapa 7. Mapa LS faktora vyrátaná z mapy dĺžky a z mapy sklonu svahu (bez filtrácie)



Mapa 8. Mapa akumulácie povrchového odtoku



Mapa 9. Mapa LS faktora vypočítaného z mapy akumulácie povrchového odtoku po odstránení odchýlky



Obr 3. Stupne erózneho ohrozenia pôdy (hore mapa robená analógovým spôsobom, v strede LS faktor rátaný zo svahových dĺžok, dole LS faktor rátaný z mapy akumulácie povrchového odtoku. Zelená farba – pôda bez ohrozenia; žltá farba – stredne ohrozená pôda; oranžová – výrazne ohrozená pôda; červená – veľmi výrazne.