

Toolbox pro stanovení topografického indexu a hydrologických zón

Ondřej Kraváček

Katedra Geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Třída Svobody 26,
771 46, Olomouc, Česká republika
Ondrej.kravacek@gmail.com

Abstrakt. Bakalářská práce se zabývá tvorbou sady nástrojů určených pro prostředí softwaru ArcGIS. Tyto základě vstupního gridu digitálního modelu reliéfu provádějí výpočet topografického indexu. Na základě vyhodnocení indexu i dalších primárních i sekundárních morfometrických charakteristik stanoví hydrologické zóny ve zkoumaném území. Součástí práce je popis stávajících přístupů a řešení problému výpočtu topografického indexu a stanovení hydrologických zón.

Klíčová slova: hydrologická zóna, topografický index, ArcGIS, toolbox, python

Abstract. Toolbox for assessment of topographical index and hydrological zones. The bachelor thesis deals with creating a set of tools for ArcGIS software environment. Input is grid of digital elevation model and tool calculates the topographic index. Assessment hydrological zones in the study region is based on the index evaluation, and other primary and secondary morphometric characteristics of the DEM. There is also a description of existing approaches and solutions of the problem of calculating the topographic index and the determination of hydrological zones in the thesis.

Keywords: hydrological zone, topographical index, ArcGIS, toolbox, python

1 Úvod

Geomorfologie Geomorfologie je vědní obor, který zkoumá georeliéf jako složku krajinné sféry v těsné vazbě s jejími dalšími složkami (atmosférou, hydrosférou, pedosférou, kryosférou, biosférou a socioekonomickou sférou). Jednotlivé sféry se navzájem ovlivňují, což je třeba vyzdvihnout zejména ve vztahu georeliéf – hydrosféra, jelikož tvary georeliéfu mají přímý vliv na akumulaci a odtok vody, jeho rychlost i směr a naopak rychlost a směr odtoku vody působí jako významný činitel při modelování georeliéfu.[1]

Geografické informační systémy Geografické informační systémy mají široké uplatnění i v této oblasti, zejména je výhodné jejich využití nejen jako integrující databázové prostředí pro shromažďování všech získaných údajů a jejich rychlou dostupnost pomocí dotazování, ale i jako integrující, analyticko-syntetické prostředí s nástroji pro realizaci pokročilých metod zkoumání, jako je například morfometrická analýza reliéfu nebo analýza odtokových oblastí.[5]

Programový balík ArcGIS od firmy ESRI je vhodným nástrojem pro usnadnění práce při těchto analýzách, je dobře rozšiřitelný, má rozsáhlou komunitu uživatelů a dobrou dokumentaci a podporu ze strany výrobce i dodavatele a proto se pro tyto účely velmi hodí.

2 Cíle práce

Cílem práce je vytvořit sadu nástrojů pro stanovení topografického indexu a hydrologických zón. Tato sada nástrojů má formu toolboxu pro sadu aplikací ArcGIS Desktop ve verzi 9.3 včetně funkční nápovědy a dostatečné dokumentace. Cílem práce je tedy soubor s koncovkou.tbx a složka s volanými skripty, nápovědou a dokumentací.

3 Postup práce

Teoretická část Teoretická část se zabývá studiem současných dostupných přístupů a řešení daného problému.

Praktická část Praktická část řeší samotnou tvorbu nástrojů pro stanovení topografického indexu a hydrologických zón. Popisuje způsob přidání toolboxu do aplikace ArcGIS, vytvoření skriptu, objektu geoprocessoru a používání jeho funkcí, jakož i samotnou algoritmizaci zvolených přístupů a strukturu jednotlivých nástrojů.

4 Algoritmy použité pro stanovení topografického indexu a hydrologických zón

Toolbox obsahuje tři nástroje použitelné pro morfometrickou analýzu tvarů reliéfu. Všechny tři jsou to skripty v jazyce python, které pomocí objektu geoprocessoru přistupují k nástrojům geoprocessingu aplikace ArcGIS. Algoritmy použité v nástrojích byly vybrány ze skupiny zkoumaných přístupů a řešení. Pro používání nástrojů stačí licence ArcView a rozšíření spatial analyst, jehož funkce skripty používají.

4.1 "TRMI" – nástroj pro stanovení topografického relativně-vlhkostního indexu

Metodika Algoritmus tohoto indexu vychází z metodiky A. J. Parkera (1982) a P. N. Haplina (1999). Na základě vypočtených morfometrických charakteristik je vypočten relativně vlhkostní index, což je číslo, udávající hodnotu potencionální vlhkosti. Hodnota indexu se pohybuje od 0 (potencionálně nejsušší místa) do 60 (místa s nejvyšší hodnotou potencionální vlhkosti).[4]

Vstupní parametry Jako vstupní parametry nástroje je třeba zadat vstupní DEM a pracovní umístění – "workspace" – kam proběhne uložení jednak výsledného rastru TRMI a jednak dočasných gridů, u kterých lze zvolit, jestli se na závěr výpočtu smažou (výchozí hodnota je maže).

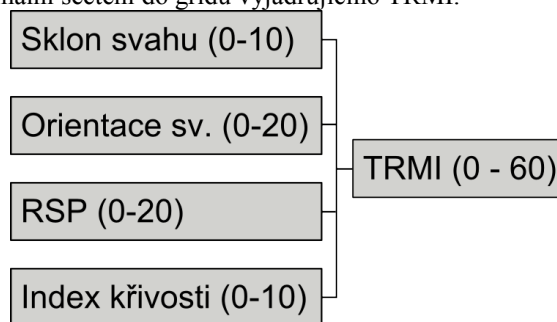
Základní charakteristiky Samotný výpočet indexu lze rozdělit do několika kroků. Prvním z nich je výpočet základních charakteristik, sklonu a orientace svahu.

Relativní pozice ve svahu Následuje výpočet relativní pozice ve svahu (RSP). Ten je založen na nalezení spodního a horního konce svahu. Spodní konec svahu je nalezen pomocí funkcí Flowdirection a Flowaccumulation, kdy jsou vybrány buňky s hodnotou vyšší než 25 a tyto plochy následně převedeny na linie reprezentované v rasteru (funkce "Thin" mapové algebry). Vrcholky jsou vyhledávány pomocí dočasně vytvořeného zhlazeného modelu (průměr z okolí bodu 30 x 30 buněk) a vypočtení rozdílu mezi zhlazeným a nezhlazeným DEM. Kde je rozdíl nejvyšší, tam lze očekávat vrcholek, ovšem hodnoty maxima se u různých DEM mohou podstatně lišit, proto je zde vytvořen cyklus, testující, zda bylo nalezeno dostatečné množství "vrcholových" buněk. Pokud jich skript nenalezne dostatečné množství, sníží kritérium a opakuje vyhledávání. Experimentálně bylo ověřeno, že nejlepšími výsledky je dosaženo s 10% nalezených "vrcholových" bodů. Tyto jsou poté opět převedeny na liniovou reprezentaci a vyhodnoceny jako vrcholy a hřebety. Konečná kalkulace RSP proběhne pomocí výpočtu (1), kde L_v je vzdálenost od vrcholku a L_{sks} vzdálenost od spodního konce svahu. Výsledkem je procentuální vzdálenost bodu od úpatí (0%) k nejbližšímu hřebeni (100%).

$$RSP = \left(\frac{L_v}{(L_{sks} + L_v)} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Index křivosti Následuje výpočet indexu křivosti. Nejprve se provede výpočet profilové a planární křivosti. Tyto se následně překlasiifikují do kategorií -1, 0, 1 (konkávní, přímé a konvexní) a z nich jsou následně odvozeny třídy hodnot indexu porovnáváním profilové a planární konvexity (konkávnosti).

Finální výpočet Následuje reklasifikace vstupních parametrů do hodnot 0 – 20 resp. 0 – 10 a jejich finální sečtení do gridu vyjadřujícího TRMI.



Obr. 1.: Parametry vstupující do výpočtu TRMI a hodnoty, kterých nabývají.

4.2 "Landform" – nástroj pro interpretaci modifikovaného TRMI a stanovení hydrologických zón

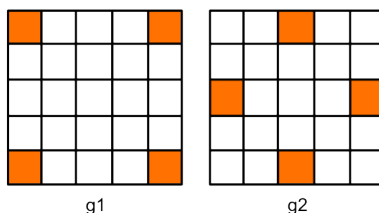
Metodika Tento nástroj využívá pozmeněný přístup z výpočtu TRMI, modifikovaný Geraldem Manisem. Vyznačuje se tím, že index křivosti je nahrazen výpočtem McCombsova terénního indexu a pro lepší vyjádření míry oslunění svahů zavádí násobitele sklonů, tedy míra oslunění není dána pouze orientací svahu, ale také jeho sklonem. Číselná hodnota tohoto indexu se pohybuje od 0 do 28 (sušší – vlhčí).[3]

Modifikovaný TRMI Prvním krokem v tomto nástroji je výpočet modifikovaného TRMI (TRMIM). Algoritmus je analogický s předchozím, zmíním proto pouze rozdíly oproti předchozímu.

McCombsův index Výpočet McCombsova indexu se provádí vytvořením dvou gridů naplněných průměrnými hodnotami přesně definovaných okolí bodu. Následně proběhne výpočet podle vzorců (2) a (3), kde g_1 a g_2 jsou gridy s průměrnými hodnotami okolí dle Obr. 2.

$$V_1 = 100 \cdot \frac{(g_1 - DEM)}{(85 \cdot 3.28084)} \quad (2)$$

$$V_2 = 100 \cdot \frac{(g_2 - DEM)}{(60 \cdot 3.28084)} \quad (3)$$



Obr. 2.: okolí bodu pro výpočet McCombsova indexu

Grid indexu je výsledkem aritmetického průměru z vypočtených gridů V_1 a V_2 . Pro účely výpočtu modifikovaného TRMI je následně reklasifikován.

Násobitel sklonu Násobitel sklonu se vyznačuje tím, že grid svahů je reklasifikován do kategorií 0 – 3, a výsledným gridem vynásoben reklasifikovaný grid orientace svahů. Vznikne tak grid, jehož hodnota reflektuje jak vliv orientace, tak i sklonu svahu na hodnotu insolace.

Interpretace Interpretace modifikovaného TRMI dále probíhá pomocí kritérií uvedených v Tab. 1.

Tab. 1.: Hodnocení na základě sklonu svahu a hodnoty modifikovaného TRMI

hodnota	klasifikační třída	svah. kritérium	hodnota TRMIM
1	údolní roviny	sv. < 3°	22 < TRMIM
2	mírně stoupající údolí, dna	3° ≤ sv. < 10°	18 < TRMIM

hodnota	klasifikační třída	svah. kritérium	hodnota TRMIM
3	mírně stoupající hřebeny, vrchy	$3^\circ \leq sv. < 10^\circ$	$TRMIM \leq 18$
4	téměř vyrovnané roviny a terasy	$sv. < 3^\circ$	$TRMIM \leq 22$
5	velmi vlhké strmé svahy	$10^\circ \leq sv. < 35^\circ$	$18 < TRMIM$
6	mírně vlhké strmé svahy	$10^\circ \leq sv. < 35^\circ$	$11 \leq TRMIM < 18$
7	mírně suché strmé svahy	$10^\circ \leq sv. < 35^\circ$	$4 \leq TRMIM < 11$
8	velmi suché strmé svahy	$10^\circ \leq sv. < 35^\circ$	$TRMIM < 4$
9	zastíněné příkopy, útesy, kaňony	$35^\circ < sv.$	$10 < TRMIM$
10	osluněné příkopy, útesy, kaňony	$35^\circ < sv.$	$TRMIM \leq 10$

sv. – sklon svahu

Klasifikace Nástroj následně provede překlasifikování těchto zón do pěti hydrologických zón podle klasifikace Dr. Macků.[6]

Tab. 2.: Klasifikace tříd TRMIM

hydrologická zóna	třída interpretace TRMIM
akumulační	Údolní roviny, téměř vyrovnané roviny a terasy
akumulačně-tranzitní	Mírně stoupající údolní dna
tranzitní	Mírně suché strmé svahy, Velmi suché strmé svahy
tranzitně-denudační	Mírně vlhké strmé svahy Velmi vlhké strmé svahy
denudační	Zastíněné příkopy, kaňony, Osluněné příkopy, kaňony, Mírně stoupající hřebeny, vrchy

4.3 "TOPO" – nástroj pro výpočet dílčích morfometrických charakteristik a stanovení hydrologických zón

Metodika Tento nástroj umožňuje klasifikovat terén do jedenácti hydrologických zón podle Pennocka (1987), které velmi dobře vystihují pravděpodobný pohyb vody v krajině. Vychází z řešení v podobě Arc Macro Language skriptu jehož autorem je Hannes Isaak Reuter. Kromě klasifikace provádí také výpočet dalších primárních a sekundárních morfometrických charakteristik, topografického vlhkostního indexu (TWI), transportní kapacitu sedimentů (STC), stream power indexu (SPI) a Relief energy (RE).[2]

Vyhledání vodních toků Jako první probíhá vyhledání hřebenů pomocí flowaccumulation, kde buňky s nulovou hodnotou jsou považovány za hřebeny. Vyhledání vodních toků se provede výběrem buněk s vyšší hodnotou

flowaccumulation než je nastavený práh (výchozí hodnota je 100). Následně je vodním tokům přiděleno číslo řádu podle metodiky Strahlera (1952).

Výpočty povodí Následují výpočty povodí. Zde má uživatel možnost volitelně dodat svůj raster vodních toků, pokud tak neučiní, použije se vygenerovaný nástrojem. Výstupem je grid oblastí s jednotlivými povodími označenými unikátní hodnotou buněk v gridu.

Výpočet indexů Dalším krokem je výpočet důležitých indexů TWI, SPI a STC podle vzorců (4), (5) a (6), kde A_s je specifická plocha povodí a β sklon svahu ve stupních.

$$TWI = \ln \left(\frac{A_s}{tg\beta} \right) \quad (4)$$

$$SPI = A_s \cdot tg\beta \quad (5)$$

$$STC = \left(\frac{A_s}{22,13} \right)^{0,6} \left(\frac{\sin\beta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (6)$$

$$RE = \frac{tg\beta_{rad} \cdot V_b \cdot \sqrt{2} + tg\beta_{rad} \cdot V_b}{2} \quad (7)$$

Relief Energy Následuje výpočet relief energy (RE) dle vzorce (7), kde β_{rad} je sklon svahu v radiánech a V_b je velikost buňky gridu v mapových jednotkách.

Konečná klasifikace Konečná klasifikace do jedenácti tříd se odehrává podle kritérií uvedených v Tab. 3.

Tab. 3.: Klasifikační tabulka pro části reliéfu (Pennock, 1987)

název EN	název CZ	sklon [°]	profilová křivost	planární křivost	plocha povodí
divergent shoulder (DSH)	divergentní vrcholová část svahu	$0 < sklon$	$0,1 < PrK$	$0,1 < PlK$	nehodnotí se
planar shoulder (PSH)	planární vrcholová část svahu	$0 < sklon$	$0,1 < PrK$	$-0,1 < PlK$ $PlK < 0,1$	nehodnotí se
convergent shoulder (CSH)	konvergentní vrcholová část svahu	$0 < sklon$	$0,1 < PrK$	$PlK < -0,1$	nehodnotí se
divergent backslope (DBS)	divergentní střední část svahu	$3 < sklon$	$-0,1 < PrK$ $PrK < 0,1$	$0,1 < PlK$	nehodnotí se
planar backslope (PBS)	planární střední část svahu	$3 < sklon$	$-0,1 < PrK$ $PrK < 0,1$	$-0,1 < PlK$ $PlK < 0,1$	nehodnotí se

název EN	název CZ	sklon [°]	profilová křivost	planární křivost	plocha povodí
convergent backslope (CBS)	konvergentní střední část svahu	$3 < sklon$	$-0,1 < PrK$ $PrK < 0,1$	$PIK < -0,1$	nehodnotí se
divergent footslope (DFS)	divergentní úpatí	$0 < sklon$	$Prk < -0,1$	$0,1 < PIK$	nehodnotí se
planar footslope (PFS)	planární úpatí	$0 < sklon$	$Prk < -0,1$	$-0,1 < PIK$ $PIK < 0,1$	nehodnotí se
convergent footslope (CFS)	konvergentní úpatí	$0 < sklon$	$Prk < -0,1$	$PIK < -0,1$	nehodnotí se
low catchment level (LCL)	oblast nízkého zadržování vody	$sklon < 3$	$-0,1 < PrK$ $PrK < 0,1$	nehodnotí se	$PP < 500$
high catchment level (HCL)	oblast vysokého zadržování vody	$sklon < 3$	$-0,1 < PrK$ $PrK < 0,1$	nehodnotí se	$500 < PP$

PrK – profilová křivost, PIK – planární křivost, PP – plocha povodí.

Filtrování Výsledný grid zón ovšem často obsahuje zóny malého rozsahu, třeba i pouze o jedné buňce. Proto bylo nutné přistoupit k filtrování výsledku. Toho je docíleno pomocí výpočtu mediánu z obsahu buněk v okolí bodu o velikosti 3x3 pixely. Uživatel má samozřejmě k dispozici jak filtrovaný, tak nefiltrovaný výsledný grid a může sám zvolit, který ke své práci využije.

4.4 Obecné vlastnosti toolboxu a jeho nástrojů

Toolbox je koncipován tak, aby bylo možné ho poskytovat ze serveru a při větším počtu počítačů nebylo nutné jej kopírovat na jednotlivé stroje. Pro svůj běh vyžaduje úroveň licence ArcView a rozšíření Spatial Analyst. Výpis případných chyb do dialogového okna je ve skriptu ošetřen pomocí klauzule `try: except:`, takže pokud nastane při běhu nějaký problém (například nelze odstranit dočasný soubor, protože je "zamknutý" jinou běžící instancí ArcGISu), skript sice končí chybou, ale uživatel je dostatečně informován o tom, jaká situace nastala. U každého skriptu je možno vypnout mazání dočasných souborů a tak následně překontrolovat chod algoritmu krok po kroku. Ukládání dočasných souborů se odehrává do "workspace", umístění zadaného na vstupu uživatelem, do stejného umístění se ukládají i výsledné

gridy. Každý grid, jehož obsahem není číselná hodnota, ale jednotlivé kategorie obsahuje v atributové tabulce pole obsahující popis nebo název příslušné kategorie.

4.5 Zájmové území

V současné době je nástroj testován na gridu odvozeném z bodového pole nadmořských výšek ZABAGEDu z oblasti severovýchodního okraje CHKO Litovelské Pomoraví o velikosti 7,6x12,4km. Má velikosti buňky 5m, rozsah nadmořských výšek 235 – 380m n. m. a na gridu části Kozlovské vrchoviny o rozloze 2x2km taktéž o velikosti buňky 5m. Tento grid byl vygenerován z vrstevnic DMÚ25 a jeho rozsah nadmořských výšek je 340 – 560m n. m..

Reference

- [1.] DEMEK, Jaromír. *Obecná geomorfologie I.* 2. Brno: Státní pedagogické nakladatelství, 1986. 101 s.
- [2.] ESRI. *ArcScripts – Relief analysis*, <http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=12974>
- [3.] MANIS Gerald, LOWRY John, RAMSEY R. Douglas. Preclassification: An Ecologically Predictive Landform Model, <http://www.gap.uidaho.edu/Bulletins/10/preclassification.htm>
- [4.] PARKER, A.J. 1982. *The topographic relative moisture index: An approach to soil-moisture assessment in mountain terrain*. Physical Geography 3: 160-168.
- [5.] PECHANEC, Vilém. *Nástroje podpory rozhodování v GIS*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2006. 104 s. ISBN 80-244-1553-4.
- [6.] PECHANEC, Vilém. *GVP*, <http://www.gvp.webz.cz/lorep-procesy.php>